

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Renata Kaiser Gumieri

O estudo da 1ª. lei da termodinâmica no contexto da máquina a vapor: uma proposta de Sequência Didática no enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS)

Juiz de Fora

2022

Renata Kaiser Gumieri

O estudo da 1ª. lei da termodinâmica no contexto da máquina a vapor: uma proposta de Sequência Didática no enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS)

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel José Reis de Oliveira

Juiz de Fora

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Gumieri, Renata Kaiser.

O estudo da 1ª. lei da termodinâmica no contexto da máquina avapor: uma proposta de Sequência Didática no enfoque

Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) / Renata Kaiser

Gumieri. --2022.

164 p.

Orientador: Emanuel José Reis de Oliveira

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2023.

1. Ciência-Tecnologia-Sociedade . 2. Primeira Lei da Termodinâmica . 3. Visões da Tecnologia. 4. Aspectos da Prática Tecnológica . 5. Transporte público. I. Oliveira, Emanuel José Reis de , orient. II. Título.

RENATA KAISER GUMIERI

O estudo da 1ª. lei da termodinâmica no contexto da máquina a vapor: uma proposta de Sequência Didática no enfoque Ciência-Tecnologia- Sociedade (CTS)

Dissertação
apresentada ao Polo
24 do Programa de
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física da
Universidade Federal
de Juiz de Fora /
Instituto Federal
Sudeste de Minas
Gerais como
requisito parcial à
obtenção do título
de Mestre em Ensino
de Física. Área de
concentração: Física
na Escola Básica.

Aprovada em 16 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emanuel José Reis de Oliveira - Orientador
Instituto Federal do Espírito Santo

Profa. Dra. Graziela Piccoli Richetti
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. José Roberto Tagliati
Universidade Federal de Juiz de Fora



Documento assinado eletronicamente por **Graziela Piccoli Richetti, Usuário Externo**, em 10/02/2023, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Emanuel José Reis de Oliveira, Usuário Externo**, em 10/02/2023, às 21:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Roberto Tagliati, Professor(a)**, em 28/02/2023, às 20:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1145422** e o código CRC **439C0CB3**.

Ao meu eu que se encontra sufocado com a dura realidade e batalha constante. Permita-se sonhar.

AGRADECIMENTOS

Uma das grandes alegrias que o mestrado me proporcionou foi estar novamente na companhia da minha amiga Shaiane. Agradeço por sua paciência e por sempre estar ao meu lado.

A orientação foi construída de tal maneira que me senti em uma família, a qual me apoiou, me guiou, respeitou meus limites e me enxergou em todas as dimensões possíveis. Essa família é composta pela Adriana, pelo Emanuel e pelo Felipe. Felipe, muito obrigada por me acompanhar nessa jornada. Meu grande irmão.

Agradeço ao meu esposo Wantuil, aos meus filhos Aquilles, Ulisses e Mariana, à minha sogra Marlene e ao meu sogro Wantuil pelos incentivos e por estarem presentes nessa importante etapa da minha vida.

Não é possível para todas as pessoas sonhar, mas dentro do caminho que trilham podem surgir oportunidades que permitem a centelha dos sonhos se acender novamente. (Luciele e Renata, "Is this all real?", 2022)

RESUMO

Partindo da análise dos produtos educacionais de sete dissertações oriundas de mestrados em Ensino de Física, o presente trabalho discutiu as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) a partir do estudo da Primeira Lei da Termodinâmica (PLT). Percebendo uma lacuna em produtos educacionais que proponham uma discussão da PLT com o enfoque CTS, foi desenvolvida uma Sequência Didática (SD), compondo o Produto Educacional, que considerou as inter-relações entre as esferas CTS com ênfase na díade Sociedade-Tecnologia (ST). Dentre outros recursos, a SD dispõe de um caso para estudo com a temática transporte público – modalidade ônibus, envolvendo visões da tecnologia, cujo detalhamento se fez a partir dos aspectos da prática tecnológica. A validação da SD foi realizada segundo o processo de Elaboração – Aplicação – Reelaboração (EAR). Nesse contexto, a aplicação ocorreu por meio da validação por pares, sendo realizada uma entrevista com quatro professoras da turma de Termodinâmica e Física Estatística do MNPEF do Polo 24 da Universidade Federal de Juiz de Fora/Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, campus Juiz de Fora, semestre 2021/2. A reelaboração da SD foi realizada a partir dos achados oriundos das entrevistas analisadas utilizando a Análise de Conteúdo e resultou na reescrita de uma das propostas apresentadas no caso para estudo a qual está centrada na díade Ciência-Tecnologia (CT).

Palavras-chaves: Ciência-Tecnologia-Sociedade – Primeira Lei da Termodinâmica – Visões da Tecnologia – Aspectos da Prática Tecnológica – Transporte público.

ABSTRACT

Starting from the analysis of educational products from seven master's thesis in the teaching of Physics, the following paperwork discussed the relationship between Science, Technology and Society (STS) from the perspective of the study of the first law of Thermodynamics (FLT). Noticing a gap in educational products that proposed a discussion about the FLT focusing on the STS, a Didactic Sequence (DS) was developed, assembling the educational product, which considered the interrelationships between the STS spheres putting more emphasis on the dyad Society-Technology (ST). Among other resources, the DS presents a case to be studied on the topic of public transportation - focusing on the city bus mode, involving views on technology, whose detailing was done using the aspects of technological practice. The validation of the DS was done in accordance with the process of Elaboration - Application - Re-elaboration (EAR). In this context, the application was run using the pair validation method, it was carried out through interviews with four professors of the Thermodynamics and Statistical Physics class of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching in the Hub 24 of the Federal University of Juiz de Fora/Federal Institute of the Southeast of Minas Gerais, Juiz de Fora campus, semester 2021/2. The re-elaboration of the DS was carried out following the results from interviews which were analyzed using the method Content Analysis and stemmed in the rewriting of one of the proposals presented in the case to be studied, which is centered on the dyad Society-Technology.

Keywords: Science-Technology-Society – First Law of Thermodynamics – Views on Technology – Aspects of Technological Practices – Public Transportation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Eolípila – máquina número 50, a máquina a vapor de Heron.....	17
Figura 2: Inventos de Heron de Alexandria. (a) Invento número 37 – portas do altar abertas por fogo no altar. (b) Invento número 38 – outro meio de intermediar a abertura de portas do altar abertas por fogo no altar.....	17
Figura 3: Etapas do ciclo Otto.....	19
Figura 4: Definição do sistema fechado.....	19
Figura 5: Esquema do termômetro de gás a volume constante.....	21
Figura 6: Processos de calor e trabalho no ciclo Otto.....	24
Figura 7: Trabalho de compressão.....	28
Figura 8: Ciclo teórico.....	30
Figura 9: Interações ciência-tecnologia-sociedade.....	42
Figura 10: Exemplos de medidas tomadas por um grupo social no cenário da máquina a vapor segundo as visões da tecnologia.....	49
Figura 11: Objetivos específicos das etapas da investigação temática.....	52
Figura 12: Etapas do processo de tomada de decisões em temas relativos à CT.....	56
Figura 13: Visão geral da SD.....	66
Figura 14: Material elaborado para a Aula 4.....	82
Figura 15: Representação esquemática das fases que compõem cada uma das fases no processo de validação da SD.....	85
Figura 16: Eolípila – máquina número 50, a máquina a vapor de Heron.....	121
Figura 17: Etapas do ciclo Otto.....	122
Figura 18: Definição do sistema fechado.....	124
Figura 19: Ciclo teórico.....	125
Figura 20: Etapas do processo de tomada de decisões em temas relativos à CT.....	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.	25
Quadro 2: Etapas do ciclo Otto.	26
Quadro 3: Ciclo Otto e as variáveis termodinâmicas.	31
Quadro 4: As esferas C-T-S.....	37
Quadro 5: Prática científica e os aspectos do enfoque CTS.....	39
Quadro 6: Prática tecnológica e os aspectos do enfoque CTS.	41
Quadro 7: Conceitos-chave presentes nas visões da tecnologia.....	44
Quadro 8: Propostas curriculares e categorias de ensino CTS.....	58
Quadro 9: Relação entre parâmetros e propósitos da educação CTS.....	59
Quadro 10: Visão geral da atividade 1.	62
Quadro 11: Níveis de investigação.....	63
Quadro 12: Organização da SD.....	68
Quadro 13: Momentos da SD.....	69
Quadro 14: Visão geral da SD.....	72
Quadro 15: Questões científicas e sociocientíficas que permeiam os casos para estudo.....	74
Quadro 16: Visões da tecnologia.....	76
Quadro 17: Os aspectos da prática tecnológica e as visões da tecnologia.....	78
Quadro 18: APT destacados para a escolha dos vídeos da Aula 2.....	80
Quadro 19: Síntese das alternativas do caso para estudo.....	83
Quadro 20: Visões da Tecnologia relacionadas com os APT e as alternativas do caso para estudo.....	90
Quadro 21: Os APT da problematização estão presentes na formalização da Aula 2.....	91
Quadro 22: Visão geral da SD.....	120
Quadro 23: Etapas do ciclo Otto.	123
Quadro 24: Ciclo Otto e as variáveis termodinâmicas.	127
Quadro 25: As esferas C-T-S.....	128
Quadro 26: Prática científica e os aspectos da concepção CTS.....	129
Quadro 27: Prática tecnológica e os aspectos da concepção CTS.....	131
Quadro 28: Conceitos-chave presentes nas visões da tecnologia.....	132
Quadro 29: Visões da tecnologia.....	138
Quadro 30: Planejamento da Aula 1.....	141
Quadro 31: Planejamento da Aula 2.....	143
Quadro 32: Os aspectos da prática tecnológica e as visões da tecnologia.....	144
Quadro 33: APT que podem ser destacados na Formalização da Aula 2.....	145

Quadro 34: Planejamento da Aula 3.....	146
Quadro 35: Planejamento da Aula 4.....	147
Quadro 36: Planejamento da Aula 5.....	150
Quadro 37: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.	152
Quadro 38: Planejamento da Aula 6.....	152
Quadro 39: Planejamento da Aula 7.....	153
Quadro 40: Visões da Tecnologia relacionadas com os APT e as alternativas do caso para estudo.....	155
Quadro 41: Emissões de poluentes atmosféricos (t/ano) por tipo de combustível em Juiz de Fora, em 2018.....	159
Quadro 42: Emissões de poluentes atmosféricos (t/ano) por tipo de combustível em Juiz de Fora, em 2018.....	164

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

3MP	Três momentos pedagógicos
AD	<i>Anno Domini</i>
APT	Aspectos da prática tecnológica
AST	Adequação Sociotécnica
BA	Bahia
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CT	Ciência-Tecnologia
CTS/CTSA	Ciência-Tecnologia-Sociedade
DC	Desenvolvimento científico
DE	Desenvolvimento econômico
DS	Desenvolvimento social
DT	Desenvolvimento tecnológico
EA	Estado da arte
EAR	Elaboração-Aplicação-Reelaboração
EC	Ensino de Ciências
EI	Ensino por Investigação
ESCT	Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia
EUA	Estados Unidos da América
HC	Hexacloroetano
LADIF	Laboratório Didático do Instituto de Física
LBT	Laboratório de Baixas Temperaturas
MAGLEV	<i>Magnetic levitation transport</i>
MNEF	Mestrado Nacional em Ensino de Física
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
MTPL	Modelo Tradicional/Linear de Progresso
NUCLEP	Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A.
PCN	Parâmetros Nacionais Curriculares
PheT	<i>Physics Education Technology</i>
PLT	Primeira lei da termodinâmica
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior

RJ	Rio de Janeiro
SD	Sequência Didática
SE-CTS	Sequência de ensino CTS
SEI	Sequência de ensino investigativa
ST	Sociedade-Tecnologia
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
V _{ad}	Válvula de admissão
V _{ex}	Válvula de exaustão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. MÁQUINAS E MOTORES	15
2.1 TEMPERATURA E PROCESSOS DE TRANFERÊNCIA DE ENERGIA ...	19
2.2 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	26
2.3 RENDIMENTO E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.....	32
3. CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE (CTS).....	34
3.1 PRESSUPOSTOS EPISTEMOLÓGICOS E CONCEITOS-CHAVE EM CTS.....	34
3.2 VISÕES DA TECNOLOGIA	43
3.3 PRESSUPOSTOS DIDÁTICO-METODOLÓGICOS	49
4. PRODUTO EDUCACIONAL	61
4.1 ESTADO DA ARTE	61
4.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	71
5. METODOLOGIA E ANÁLISE	84
5.1 O PROCESSO EAR: VALIDAÇÃO POR PARES.....	84
5.2 APRESENTAÇÃO DO <i>CORPUS</i> E ANÁLISE.....	86
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
7. REFERÊNCIAS	97
ANEXO 1: TERMO TCLE	106
ANEXO 2: QUESTIONÁRIO DE PERFIL	107
ANEXO 3: QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO	108
ANEXO 4: PERGUNTAS DA ENTREVISTA	118
ANEXO 5: PRODUTO EDUCACIONAL	119
ANEXO 6: ESTUDO DIRIGIDO – AULA 4.....	156
ANEXO 7: TEXTOS – AULA 5	159

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho discute as relações entre ciência, tecnologia e sociedade a partir do contexto da máquina a vapor, para tanto foram realizados: (i) o desenvolvimento do estado da arte (EA) (VOSGERAU; ROMANOWSKI, 2014) que partiu da busca por trabalhos desenvolvidos no Mestrado Nacional em Ensino de Física (MNEF); (ii) estudos sobre Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS); e (iii) a (re)elaboração de uma sequência didática (SD). No que tange os estudos sobre CTS, foram utilizadas as denominações enfoque, movimento e abordagem segundo Strieder (2012):

Utilizamos o termo “Enfoque CTS” quando nos referimos às repercussões do Movimento CTS no contexto educacional. Optamos por esse termo, pois é o mais utilizado em trabalhos sobre o assunto. O termo “Movimento CTS”, por sua vez, é utilizado quando nos referimos às discussões CTS num contexto mais amplo, enquanto situação de intervenção social. Com isso pretendemos enfatizar que os estudos em CTS, em sua origem, estavam relacionados a situações de intervenção social a partir de reivindicações e interesses de mudança específicos. Por fim, o termo “Abordagem CTS” é utilizado quando nos referimos ao presente trabalho. Ao utilizá-lo buscamos enfatizar que há diversas maneiras de abordar as relações CTS no contexto da Educação Científica (STRIEDER, p. 11, 2012).

Assim, entendemos como CTS a abordagem curricular que trata das práticas científica e tecnológica a partir de um problema que parte da sociedade. Não há uma desvinculação da prática científica, ou seja, essa abordagem é desenvolvida através das inter-relações entre as esferas C-T-S. Desse modo, o objetivo do presente trabalho é desenvolver uma SD que se inicia com a discussão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade (SANTOS; MORTIMER, 2002) a partir do estudo da primeira lei da termodinâmica (PLT), o que perpassou pelo diálogo entre os aspectos da prática tecnológica (APT) e as visões da tecnologia (DAGNINO, 2010).

Os documentos oficiais Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNEM) (BRASIL, 2000, 2002) e Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2017) chamam a atenção para a construção do conteúdo científico de forma a destacar as questões de natureza social, cultural, entre outras, ou seja, as inter-relações que são apresentadas, no decorrer da dissertação, a partir das esferas C-T-S.

Quanto à minha experiência profissional, percebo inúmeras tentativas de aproximar o conteúdo do cotidiano do estudante, de tornar o ensino de física mais “atrativo” etc. as quais são frustradas pelos resultados “insuficientes” nos padrões de avaliação geralmente adotados pelas escolas, me refiro aqui à avaliação somativa. A motivação inicial à entrada no programa do MNPEF foi buscar alternativas para esses questionamentos e com o estudo em CTS percebi

que tais questionamentos não podem ser tomados de forma isolada. Precisamos perceber o coletivo da escola e trabalhar em conjunto na sala de aula. Assim, a SD se apresenta na frente curricular com ênfase no conteúdo CTS, o qual é o foco do ensino.

O desenvolvimento e aplicação da SD foi realizado segundo o processo EAR (GUIMARÃES; GIORDAN, 2012, 2013). Dentro do processo EAR, a aplicação ocorreu por meio da validação por pares. É importante destacar que a SD foi desenvolvida para o ensino presencial, o qual não foi possível devido à pandemia do novo coronavírus SARS-CoV-2, que causa a doença COVID-19 (LIMA, 2020). Desse modo a validação por pares ocorreu na turma de Termodinâmica e Física Estatística do MNPEF do Polo 24 da UFJF/IFSudesteMG, durante o semestre 2021.2, em acordo com a Resolução Nº 1 da CPG Nacional do MNPEF (2020).

Um dos resultados apresentados pelo EA é a centralidade dos trabalhos na díade Ciência-Tecnologia (CT). Ou seja, os trabalhos dialogam com os currículos CTS que trazem: (i) ênfase no conteúdo científico; e (ii) práticas CT como aplicações do conteúdo científico, discutidos ao longo deste trabalho. Em contrapartida, nosso trabalho busca dialogar com o currículo CTS que apresenta ênfase no conteúdo CTS, para tanto é destacada a díade Sociedade-Tecnologia (ST) que trata sobre as influências da sociedade sobre a tecnologia e vice-versa.

No campo de Ensino de Ciências (EC) há duas denominações distintas para o estudo das relações entre C-T-S: CTS e CTSA. Neste trabalho como um todo adotamos o termo CTS, preservando a denominação original nos casos de citação direta. Ainda, na literatura sobre os Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia (ESCT) há uma variação em relação às expressões CT e tecnociência – este mais utilizado recentemente. Porém, na área do EC, não se percebe esta variação. Dessa forma, mantivemos ao longo deste trabalho a denominação CT, exceto em citações diretas de autores que utilizam o termo tecnociência.

Desse modo, este trabalho está organizado da seguinte maneira:

- Máquinas térmicas: apresentação do conteúdo científico a partir do motor à combustão interna. Neste capítulo tratamos sobre a PLT buscando mostrar sua construção apontando para as discussões ST.
- Enfoque CTS e as Visões da Tecnologia: apresentação do enfoque CTS e posterior discussão das relações C-T-S no contexto da máquina a vapor. Desse modo, é apresentada as influências ST na discussão sobre as visões da tecnologia fazendo o paralelo, também, com o contexto da máquina a vapor.
- Produto educacional: apresenta a discussão sobre os resultados apresentados pelo EA e a elaboração da SD.

- Metodologia e análise: nesta etapa do trabalho, discorremos sobre os dados utilizando a técnica da Análise de Conteúdo (BARDIN, 1977; CAVALCANTE; CALIXTO; PINHEIRO, 2014). Para tanto, apresentamos uma breve descrição do processo de Elaboração-Aplicação-Reelaboração (EAR) (GUIMARÃES; GIORDAN, 2013) destacando o processo de validação por pares aqui desenvolvido (GUIMARÃES; GIORDAN, 2012). Em seguida, apresentamos a Reelaboração da SD.
- Considerações finais: apresenta uma síntese do trabalho desenvolvido juntamente com os resultados e indicações de pesquisas futuras.

2. MÁQUINAS E MOTORES

Neste capítulo destacamos alguns conceitos científicos importantes na definição da Primeira Lei da Termodinâmica (PLT), apontando também para os outros aspectos – políticos, econômicos etc. – envolvidos nessa definição que serão abordados nos capítulos que tratam sobre a concepção Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e a na elaboração da Sequência Didática (SD).

Há muito tempo o ser humano procura meios para multiplicar sua força, isto é, criar artificios para que uma pequena força exercida sobre um artefato, o qual produz como resultado a ampliação do módulo da força exercida. Este “(...) dispositivo para multiplicar forças ou simplesmente mudar a direção de forças” (HEWITT, 2015, p. 120) é o que chamamos de máquina. Aliás, etimologicamente, máquina significa isto: artifício; meio para se conseguir um fim (HOUAISS e VILLAR, 2009). Um retrato dessa finalidade para se diminuir a força humana necessária durante a execução de uma atividade é a celebre frase de Arquimedes a respeito das alavancas, – “dê-me um ponto de apoio e eu moverei o mundo” (HEWITT, 2015, p. 120) – referindo-se a uma das máquinas mais simples já construída.

Um tipo específico de máquina é aquela capaz de converter outras formas de energia em movimento. Para esse tipo de máquina, damos o nome de motor. A raiz latina dessa palavra exprime a ideia de algo que se move ou que faz alguma coisa se movimentar; seu vocábulo já era usado no latim escolástico como o ser que dá movimento a outro, como argumento para justificar Deus como sendo o Primeiro Motor. Todavia, é provável que a utilização desse termo em português associado às produções científicas se tenha dado a partir do século XVII por uma adaptação vinda do termo francês *moteur*. Mas somente no século XIX, o vocábulo passa a caracterizar artefatos que convertem outras formas de energia em movimento (HOUAISS e VILLAR, 2009).

Neste trabalho, adotaremos a nomenclatura máquinas térmicas como sinônimo de motores a combustão para designar esses dispositivos capazes de transformar energia térmica em energia mecânica. Um exemplo desse tipo de equipamento é aquele encontrado nos veículos automotores. Podemos, ainda, dizer que há vários tipos de máquinas térmicas, o que nos permite classificá-las segundo duas categorias:

- conforme a configuração de seus pistões: (i) em linha; (ii) em V; (iii) opostos, também chamado de *boxer*; (iv) radial. Caso o motor não use pistão em sua configuração, caso dos motores rotativos, eles podem ser (i) Wankel; ou (ii) *quasiturbine*.

- conforme seu local onde ocorre o processo de queima do combustível para geração de energia para seu funcionamento. Nesse caso, eles podem ser classificados como (i) motor de combustão interna, como os motores de carros, motos, tratores, caminhões, navios etc.; ou de combustão externa, como motores a vapor, motor a vácuo e o motor Stirling.

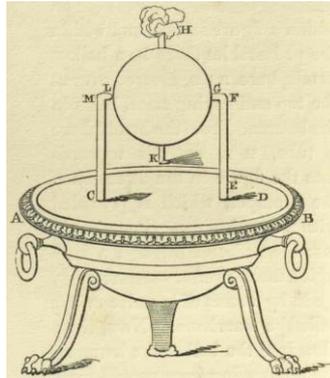
Cronologicamente, os primeiros tipos de máquinas térmicas a surgirem foram os motores a vapor. Sua utilização em larga escala se deu na segunda metade do século XVIII na Inglaterra. O emprego massivo dessas máquinas foi tão expressivo que esse período ficou conhecido na História como Revolução Industrial, pois através dela iniciou-se o desenvolvimento das indústrias e a consolidação do capitalismo como regime socioeconômico. Enquanto alguns historiadores indicam que seu início se deu na década 1760, outros apontam que ela teria tido seu começo na década 1780, pois é partir deste período que se pode notar um crescimento vertiginoso dos índices estatísticos da economia (HOBSBAWM, 2012). Essa guinada repentina econômica está diretamente, mas não exclusivamente, ligada a utilização acentuada de máquinas térmicas que foram aperfeiçoadas por James Watt em 1765.

Todavia, a utilização da energia térmica como força motriz não teve início na Inglaterra do século XVIII; ela remonta à Grécia do século I AD¹, com Heron de Alexandria. Entre seus mais diversos inventos, aquele que possivelmente tenha sido o primeiro dessa natureza foi a eolípila, registrada como máquina número 50 – a máquina a vapor² (HERON DE ALEXANDRIA, 1851). Seu funcionamento é relativamente simples: a água contida numa bacia era aquecida pela queima de algum material; ligados a essa bacia havia dois tubos que a conectavam a uma esfera oca que pudesse girar e possuía outros dois tubos abertos; isso fazia com que o vapor d'água aquecido fosse conduzido para o meio externo fazendo a esfera rodar.

¹ AD é a sigla de *Anno Domini*, que significa ano do Senhor.

² Tradução nossa de Heron de Alexandria (1851, p. 72).

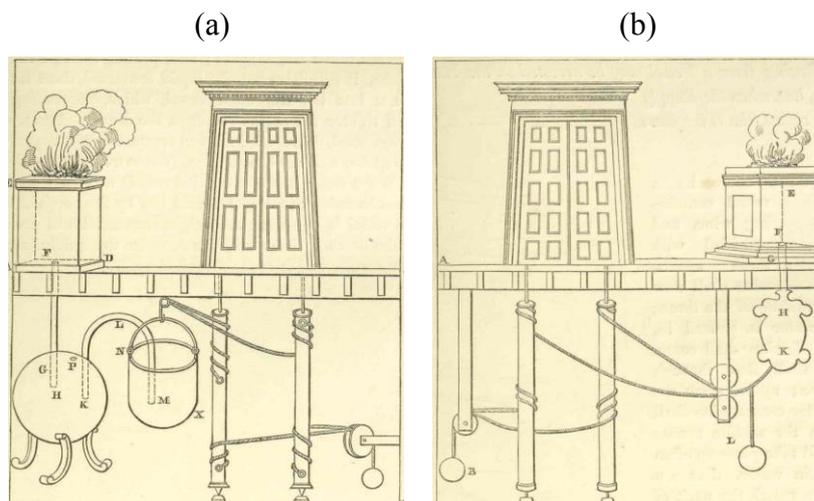
Figura 1: Eolípila – máquina número 50, a máquina a vapor de Heron.



Fonte: Heron de Alexandria (1851, p. 72)

Esta máquina não foi a única do gênero que Heron desenvolveu. Podemos perceber o domínio de seus conhecimentos sobre manipular a transformação de energia térmica em mecânica em outros inventos, no qual destacamos as máquinas número 37 e 38, que consistia num mecanismo para abrir as portas do templo quando os sacerdotes acendiam as chamas do altar (HERON DE ALEXANDRIA, 1851). Isso provocava certa comoção nos fiéis, dando credibilidade aos sacerdotes.

Figura 2: Inventos de Heron de Alexandria. (a) Invento número 37 – portas do altar abertas por fogo no altar³. (b) Invento número 38 – outro meio de intermediar a abertura de portas do altar abertas por fogo no altar⁴.



Fonte: Heron de Alexandria (1851, p. 57-59)

Diante disso, uma das perguntas que podemos nos fazer é por que não tivemos uma espécie de revolução industrial já no século I AD, visto que já desde essa época já tínhamos conhecimento acerca da transformação de energia térmica em mecânica? Entendemos que

³ Tradução nossa de Heron de Alexandria (1851).

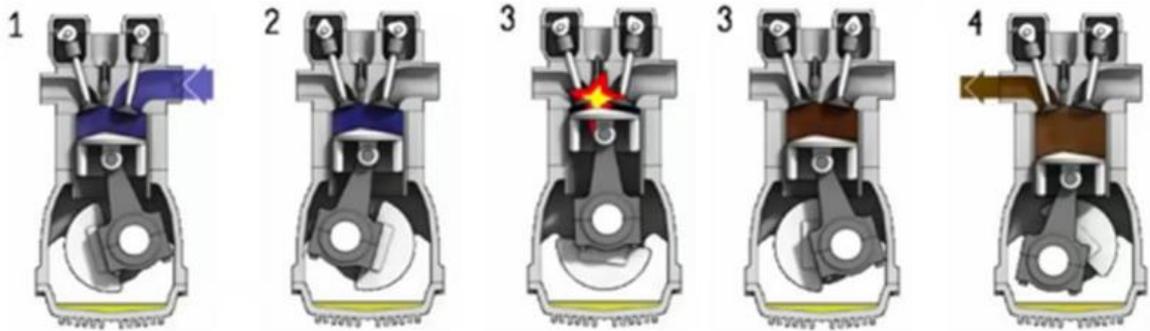
⁴ Idem.

responder a essa pergunta não seja uma tarefa fácil. No que se refere ao século I AD, podemos conjecturar que uma possibilidade para que esse conhecimento a respeito da utilização da energia térmica não se difundisse no meio social da época tenha relação com a mão de obra escravizada abundante e barata. Isso, então, não provocou uma comoção nas pessoas a respeito da possibilidade de aparelhos que poupassem esforços. Por outro lado, como apontamos, as máquinas térmicas tiveram um papel importante na Revolução Industrial do século XVIII, mas não foram as únicas responsáveis por ela. As condições políticas, o acúmulo de capital, as explorações em minas de carvão e a crescente demanda do setor têxtil da Inglaterra naquele momento são alguns dos outros fatores que propiciaram essa revolução.

A crescente demanda por processos melhores de transformação de energia térmica em mecânica e as novas descobertas no campo da Ciência acerca de combustíveis e resistência de materiais, tornaram o terreno profícuo para o desenvolvimento de motores de combustão interna. Essas máquinas operam executando procedimentos que se repetem para transformarem a energia química do combustível a ser queimado em energia mecânica. Esse conjunto de ações que se repetem, fazendo a máquina voltar ao estado inicial, recebe o nome de ciclo (NUSSENZVEIG, 2002). Os motores de combustão interna executam esse ciclo podendo ser dividido em (i) duas etapas, os chamados motores de 2 tempos; e (ii) quatro etapas, no caso dos chamamos motores de 4 tempos. Neste trabalho, dedicaremos nossa atenção aos motores de quatro tempos para o estudo da Primeira Lei da Termodinâmica considerando as etapas do ciclo Otto⁵, representadas na Figura 3, sendo: (1) aspiração; (2) compressão; (3) combustão; (4) exaustão.

⁵ Embora o motor a diesel também opere com 4 tempos, os mesmos descritos acima, seu ciclo de funcionamento é chamado de ciclo Diesel, que é diferente do ciclo Otto. Este último é utilizado para descrever o processo de transformação de energia tomando-se a gasolina ou o álcool como combustível.

Figura 3: Etapas do ciclo Otto.



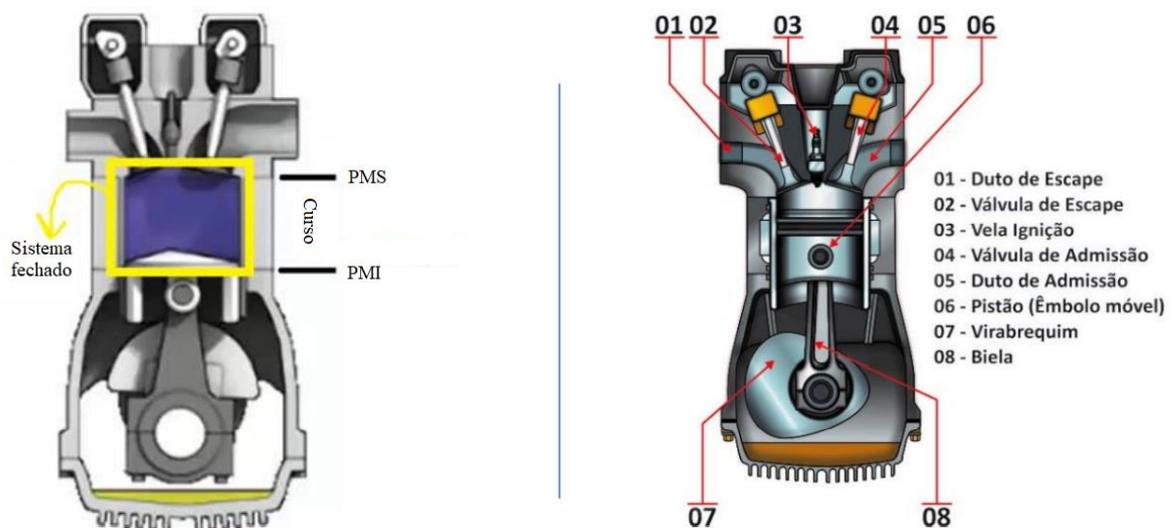
Fonte: Adaptado de Selegim (2015).

A seguir, apresentamos os conceitos físicos necessários para a compreensão do ciclo Otto.

2.1 TEMPERATURA E PROCESSOS DE TRANFERÊNCIA DE ENERGIA

Basicamente, para compreendermos o ciclo Otto, precisamos compreender o balanço de energia em determinado sistema fechado definido *a priori* que, em nosso caso, é o cilindro que contém a mistura ar-combustível (Figura 4). Nesse sistema o pistão irá se mover entre o Ponto Morto Superior (PMS) e o Ponto Morto Inferior (PMI) onde analisamos o comportamento da mistura ar-combustível. Para tanto, primeiro retomaremos os conceitos de temperatura, calor e trabalho.

Figura 4: Definição do sistema fechado.



Fonte: Adaptado de Selegim (2015).

A temperatura pode ser definida operacionalmente como aquela grandeza que é medida por um termômetro (TERMODINÂMICA UFF, 2014). A “maneira mais fácil de

estabelecer uma escala termométrica é achar uma substância que possua uma propriedade que se modifique de modo regular com a temperatura e tenha praticidade de uso.” (PIRES; AFONSO; CHAVES, 2006). Desse modo podemos construir uma escala para verificar a mudança de temperatura de determinado corpo usando a dilatação da substância, ou seja, relacionando a mudança de temperatura com a expansão do líquido usado no termômetro. A relação entre as escalas relativas Celsius e Fahrenheit está representada na equação a seguir, onde T_C é a temperatura na escala Celsius e T_F é a temperatura na escala Fahrenheit:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \quad (1)$$

Logo,

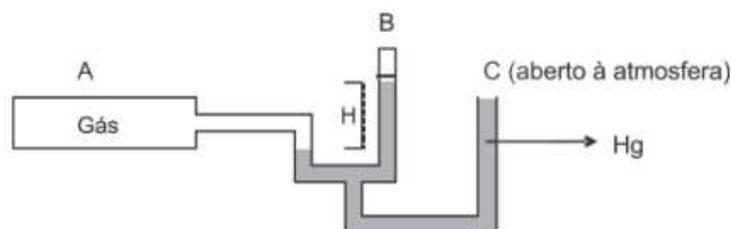
os termômetros de dilatação de líquidos baseiam-se na lei de expansão volumétrica do líquido com a temperatura dentro de um recipiente fechado. A relação não é linear, mas para diferenças de temperaturas pequenas, a função termométrica se reduz a uma forma linear (...) (PIRES; AFONSO; CHAVES, 2006).

Começamos então a construir uma noção quantitativa para o conceito de temperatura, no entanto, para esse caso, assume-se uma relação linear entre temperatura e dilatação que é verdadeira apenas para pequenas variações de temperatura. Para contornar tal problema, assumimos como substância “de trabalho” – que está contida no sistema fechado - um gás a baixa pressão, assim, temos o “termômetro de gás a volume constante, onde a grandeza termométrica é a pressão do gás” (PIRES; AFONSO; CHAVES, 2006). Conforme descreve Pires, Afonso e Chaves (2006).

(...) esse termômetro consiste de um recipiente A que contém o gás sob baixa pressão. A pressão do gás é medida através da altura H da coluna de mercúrio que preenche o manômetro B. O volume do gás é mantido constante, mediante a movimentação vertical do reservatório C que contém mercúrio e que se comunica com a parte inferior do manômetro. O gás utilizado é geralmente hélio ou hidrogênio extremamente rarefeito (quase vácuo). Desse modo, a função termométrica é linear (PIRES; AFONSO; CHAVES, 2006, p. 1396).

Esse termômetro está representado na Figura 5, a seguir.

Figura 5: Esquema do termômetro de gás a volume constante



Fonte: Pires, Afonso e Chaves (2006, p. 1397).

No esquema, o volume é mantido constante pela movimentação do reservatório C. A cada temperatura corresponde uma altura H de mercúrio. Portanto, no termômetro a gás a volume constante, variando-se a pressão, a variação da temperatura será linear. Mas isso só ocorre em condições específicas, isto é, com o gás a baixa pressão, o que corresponde a um gás ideal ou gás perfeito. A equação (2) representa o comportamento do gás ideal, onde n é o número de mols e R é a constante dos gases perfeitos (ideais) e vale $8,31 \text{ J/mol.K}$. Podemos reescrever a equação (2) em função da constante de Boltzmann, k , equação (3), onde N é o número de partículas e $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$. Observamos que a constante de Boltzmann estabelece um número de conversão entre uma grandeza medida em Kelvin e outra grandeza medida em Joule, ou seja, entre temperatura e energia. Portanto, grosso modo, podemos dizer que temperatura tem alguma relação com energia (TERMODINÂMICA UFF, 2014).

$$P V = n R T \quad (2)$$

$$P V = N k T \quad (3)$$

A teoria cinética dos gases nos leva a “visualizar” uma amostra de gás perfeito formada por muitas partículas (10^{20} por cm^3), de dimensões desprezíveis que se movem em todas as direções de modo aleatório e que não interagem entre si. Desse modo é possível demonstrar a expressão denominada equação fundamental da teoria cinética, que relaciona a pressão (p) exercida pelo gás perfeito com a velocidade média quadrática (\bar{v}) de suas moléculas e com a massa específica (μ) do gás, ou seja,

$$P = \frac{1}{3} \mu (\bar{v})^2. \quad (4)$$

Combinando as equações (2) e (4), e sabendo que a massa específica é o quociente da massa total (m) do gás pelo volume (V) ocupado por ele, obtemos:

$$T = \frac{M}{3R} (\bar{v})^2. \quad (5)$$

A equação da energia cinética média existente em cada partícula de um gás perfeito fica – considerando o teorema da equipartição da energia – dada por

$$E_{cm} = \frac{3}{2} NkT. \quad (6)$$

Feynman (2008), apresenta o exemplo de dois gases monoatômicos em um recipiente separados por um pistão móvel analisando o processo de interação entre eles durante um tempo que seja suficiente para que a temperatura dos gases seja igual. Em suma, Feynman destaca que:

A energia cinética molecular média é uma propriedade somente da “temperatura”. Sendo uma propriedade da “temperatura”, e **não do gás**, podemos usá-la como uma **definição** da temperatura. A energia cinética média de uma molécula é assim função da temperatura (FEYNMAN, 2008, p. 39-10) – grifos no original).

Retomando às máquinas térmicas, costumamos dizer que essas máquinas operam entre duas fontes térmicas a temperaturas diferentes. Se consideramos essas duas fontes como sendo dois corpos separados por paredes diatérmicas, paredes que permitem a troca de energia térmica por calor, e inseridos num ambiente adiabático, observaremos, com o passar do tempo, que o corpo quente se esfriará e o corpo frio se aquecerá até que ambos atinjam a mesma temperatura. Partindo da concepção de que temperatura é uma descrição macroscópica “(...) relacionada com a energia cinética média das partículas” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 156) e que, em princípio, as leis da mecânica podem ser aplicadas tanto a objetos macroscópicos quanto microscópicos, – sem entrarmos em escalas atômicas e subatômicas, pois passaríamos a lidar com a mecânica quântica (NUSSENZVEIG, 2002) – ao observarmos o experimento proposto podemos, então, dizer que a energia cinética média das moléculas do corpo quente diminuiu e do corpo frio aumentou.

Todavia, bem sabemos que pelo princípio da conservação da energia, essa diminuição e aumento da temperatura percebido não se dão pela destruição ou criação de energia para essas moléculas. Podemos então inferir que o aumento da energia cinética média das moléculas, isto é, da temperatura do corpo frio se deve ao fato de que o corpo quente transferiu energia para ele e com isso sua temperatura cai. Esse processo de transferência de energia causado exclusivamente por essa diferença de temperatura é o que chamamos de calor. Esse fluxo de

energia⁶, segundo, Clausius, sempre será do corpo mais quente para o corpo mais frio⁷. Assim, para um motor produzir trabalho a partir de um processo de calor “(...) precisamos ter pelo menos dois reservatórios térmicos a temperaturas diferentes” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 208).

O fluxo de energia por calor pode ocorrer por diferentes mecanismos: (i) condução; (ii) convecção e (iii) radiação. Basicamente, o que diferencia os três processos está em como se dará a propagação da energia térmica. Porém, na condução e na convecção é necessário um meio material para que ocorra a transferência dessa energia; na radiação térmica, ela pode ocorrer também no vácuo. A condução ocorre quando há contato microscópico entre dois sistemas termodinâmicos sendo a vibração da rede cristalina a “responsável” pela propagação da energia térmica, enquanto na convecção há o movimento global das partículas do sistema termodinâmico.

Em síntese, calor é o processo de fluxo de energia que ocorre entre dois sistemas termodinâmicos, que seja **espontâneo** e motivado **apenas** pela **diferença de temperatura** entre eles (OLIVEIRA, 2018). Qualquer outro processo de transferência de energia que **não** seja **espontaneamente** provocada pela diferença de temperatura (OLIVEIRA, 2018), é denominado **trabalho**. Segundo Borgnakke e Sonntag (2013):

Trabalho é energia em transferência e, conseqüentemente, cruzando as fronteiras do volume de controle⁸. Em adição ao trabalho mecânico realizado por uma única força pontual, podemos ter um eixo rodando, como em um sistema de transmissão automotivo; trabalho elétrico, como o fornecido por uma bateria ou sistema de potência; ou o trabalho químico, só mencionando algumas possibilidades (BORGNAKKE; SONNTAG, 2013, p. 93).

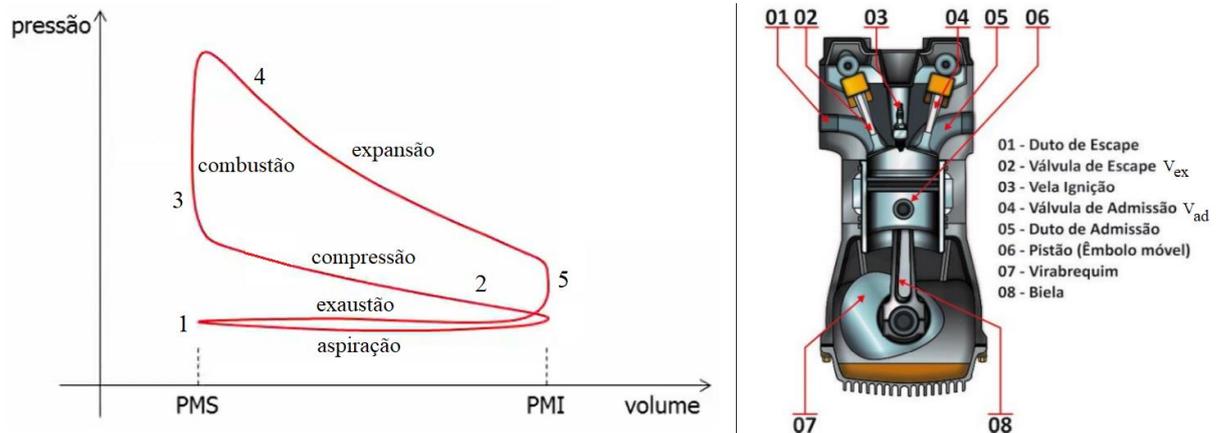
Matematicamente, calor e trabalho são funções de linha, isto é, representam processos físicos que dependem do caminho que o sistema percorre (BORGNAKKE; SONNTAG, 2013). Resumindo, calor e trabalho se referem a dois processos distintos de transferência de energia entre sistemas termodinâmicos (OLIVEIRA, 2018). A seguir, na Figura 6, representamos tais processos nas etapas do ciclo Otto.

⁶ No caso específico de dois corpos em contato, o fluxo é descrito pela Lei de Fourier da condução térmica.

⁷ Este princípio é uma das maneiras de se enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica. Nas palavras de Clausius, “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 207).

⁸ Um sistema termodinâmico é um dispositivo ou conjunto de dispositivos que contém uma quantidade de matéria que está sendo estudada. Para uma definição mais precisa, um volume de controle é escolhido de tal modo que contenha a matéria e os dispositivos dentro de uma superfície de controle. Tudo externo ao volume de controle é a vizinhança, com a separação proporcionada pela superfície de controle. A superfície pode ser aberta ou fechada para escoamentos de massa, e pode ter fluxos de energia em termos de transferência por calor e trabalho (BORGNAKKE; SONNTAG, 2013, p. 23).

Figura 6: Processos de calor e trabalho no ciclo Otto.



Fonte: Adaptado de Selegim (2015).

Na etapa da aspiração (1) a válvula de admissão (V_{ad}) é aberta ($V_{ad} = 1$) e a válvula de exaustão (V_{ex}) está fechada ($V_{ex} = 0$) e há a entrada de ar, sendo a pressão mantida constante e um pouco menor que a pressão atmosférica. Em seguida, $V_{ad} = 0$, inicia-se a etapa da compressão (2). O processo da compressão é adiabático, ou seja, não há transferência de energia térmica para o meio externo por calor; há a redução do volume ocupado pela mistura e aumento da pressão sobre a mistura. Ainda na compressão, podemos observar que o pistão irá subir, isto é, há a realização de trabalho do pistão sobre a mistura.

A etapa da combustão (3) acontece muito rápido, por isso pode ser considerada uma etapa a volume constante, onde a mistura, a alta pressão e temperatura, entra em combustão por meio de uma centelha elétrica produzida pela vela de ignição. Manavella (2012) apresenta o resultado desta em função de fatores que influenciam seu processo:

Combustão completa da mistura: Os gases de escape contêm H_2O (água) e CO_2 (dióxido de carbono). Outros gases presentes no ar (nitrogênio, por exemplo) passam inalterados pelo processo de combustão. Esta definição é só teórica, já que na realidade verifica-se que, ainda no caso de combustão completa, o nitrogênio é oxidado, formando **Nox** (óxidos de nitrogênio); isto, devido às altas temperaturas presentes na câmara de combustão.

Combustão incompleta da mistura: Os gases de escape contêm, além de H_2O e CO_2 , outros compostos poluentes como: **CO**, **HC**, **Nox**. Outros componentes do combustível (enxofre, por exemplo), por sua vez, darão origem a gases nocivos à saúde e ao meio ambiente. Além dos mencionados, o motor diesel emite **material particulado** (MANAVELLA, 2012, p. 13 – grifos no original).

O Quadro 1 mostra os efeitos à saúde e ao meio ambiente de alguns dos gases emitidos por motores à combustão interna.

Quadro 1: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos gerais sobre a saúde	Efeitos no meio ambiente
Partículas totais em suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua suspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen aerossol marinho e solo.	Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito à saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doença pulmonar, asma e bronquite.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite, abaixa a resistência às infecções respiratórias.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	Altos níveis de CO estão associados a prejuízos dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado, de trabalho e visual.	—

Fonte: Silva (2008).

Posteriormente, ocorre a expansão (4), onde a mistura realiza trabalho sobre o pistão e será esse o trabalho útil do processo – o “trabalho que cruza a fronteira de um sistema” (BORGNAKKE; SONNTAG, 2013, p. 93). E, então, a V_{ex} é aberta ($V_{ex} = 1$), V_{ad} é fechada ($V_{ad} = 0$) e o produto dessa combustão incompleta é liberado na etapa da exaustão (5). Observe que a etapa da exaustão é constituída por duas transformações: (i) isocórica; e (ii) isobárica. Mais à frente abordaremos a análise desse ciclo numa perspectiva teórica em que as etapas da aspiração e a isocórica da exaustão não estão presentes, pois, como observado no diagrama da Figura 6, a área entre essas etapas é muito pequena, ou seja, envolve uma quantidade muito pequena de trabalho, então pode-se desprezar esses dois processos (SELEGHIM, 2015).

Tais características são apresentadas no quadro-síntese em sequência no Quadro 2:

Quadro 2: Etapas do ciclo Otto.

Etapa	Transformação	Processo	Válvula de admissão (V_{ad})	Válvula de exaustão (V_{ex})
1. Aspiração	Isobárica	Trabalho	Aberta $V_{ad} = 1$	Fechada $V_{ex} = 0$
2. Compressão	Adiabática	Trabalho	Fechadas $V_{ad} = V_{ex} = 0$	
3. Combustão	Isocórica	Calor		
4. Expansão	Adiabática	Trabalho		
5. Exaustão	Isocórica/Isobárica	Calor/Trabalho	Fechada $V_{ad} = 0$	Aberta $V_{ex} = 1$

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez apresentados de forma geral os conceitos de calor e trabalho, bem como as etapas do ciclo Otto em um motor de combustão interna, a seguir discutimos a Primeira Lei da Termodinâmica (PLT).

2.2 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A PLT é uma extensão do princípio da conservação da energia que relaciona a variação de energia interna de um sistema termodinâmico com os processos de calor e trabalho. A seguir apresentamos a energia interna para então tratar sobre sua variação.

A seguir designaremos U para energia interna e u para energia interna por unidade de massa. Como destaca Borgnakke e Sonntag (2013), em geral, “para qualquer substância a energia interna u depende de duas propriedades independentes que definam o estado termodinâmico” (BORGNAKKE; SONNTAG, 2013, p. 115). Aqui utilizamos a hipótese de que o fluido de trabalho é o ar, sendo o mesmo considerado um gás ideal (perfeito). Nesse caso, a massa específica é muito pequena e a energia interna dependerá apenas da temperatura, isto é, para um gás ideal a energia interna é totalmente cinética. Podemos, então, definir a energia interna utilizando o calor específico a volume constante, reescrevendo a equação (7) como sendo uma derivada ordinária:

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (7)$$

$$c_{v0} = \frac{du}{dT} \quad (8)$$

$$du = c_{v0} dT \quad (9)$$

$$dU = mc_{v0} dT, \quad (10)$$

onde c_{v0} é o calor específico de um gás ideal. Assim, voltando nas etapas do ciclo Otto, observamos a variação de temperatura em todas elas ora mantendo o processo adiabático, ora mantendo o processo a volume constante. Do princípio de conservação de energia (FEYNMAN, 2008), assumindo que toda energia que entra no sistema é positiva, ou seja, a energia interna aumenta se o sistema recebe energia por calor ou por trabalho, podemos escrever (TERMODINÂMICAUFF, 2014):

$$\Delta U = Q + W. \quad (11)$$

Na equação (11), a energia transferida por um processo de calor ou de trabalho é considerada positiva quando contribui para aumentar a energia interna do sistema (gás). Desse modo:

- a energia térmica transferida por calor pode ser:
 - a) positiva (+): quando o gás recebe energia térmica;
 - b) negativa (–): quando o gás cede energia térmica.
- a energia mecânica transferida por trabalho pode ser:
 - a) positiva (+): compressão – quando o pistão realiza trabalho sobre o gás;
 - b) negativa (–): expansão – quando o gás realiza trabalho sobre o pistão.

Podemos reescrever a equação (11) para uma pequena variação de energia. Para tanto é importante observar que calor e trabalho são processos que dependem do caminho, como descrito anteriormente, são funções de linha, logo não podem ser representados por diferenciais exatas e sim inexatas em que mantemos a notação Q e W . Como enunciado pela PLT, uma variação finita de energia interna corresponde a processos finitos de transferência de energia por calor e trabalho, como descrito na equação (11). Essa correspondência continua valendo para processos infinitesimais, ou seja, se ΔU for muito pequeno, isto é, for infinitesimal, então Q e W também serão infinitesimais, de modo que a equação (12) pode ser escrita da forma:

$$dU = Q + W. \quad (12)$$

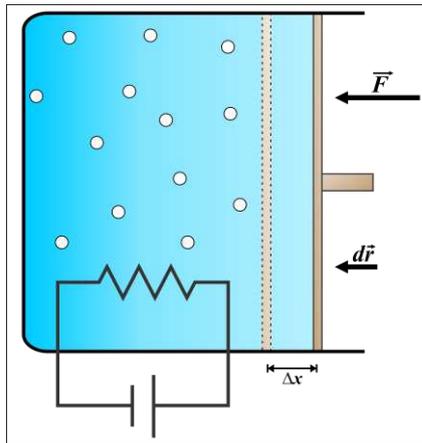
Aqui cabe uma observação com relação à notação adotada na equação (12). A energia interna é uma função de ponto, sendo dU uma diferencial exata. Porém, calor e trabalho são funções de linha, cujos valores de energia transferida dependem, em princípio, diretamente do caminho. Matematicamente, diz-se que calor e trabalho representam diferenciais inexatas e, portanto, não faz sentido representar quantidades de energia infinitesimais transferidas por calor e trabalho por diferenciais exatas. Com o objetivo de evitar uma possível confusão de símbolos, optamos por representar as quantidades de energia infinitesimais associadas aos processos de

calor e trabalho da mesma forma que nos processos finitos de transferência de energia por calor e trabalho e informar explicitamente que tais valores são infinitesimais.

Aplicaremos, agora, o princípio de conservação de energia para um processo adiabático quase-estático, onde há a compressão de um gás. Neste caso, não há troca de energia com o ambiente por calor e a variação de energia interna se deve apenas pelo trabalho de compressão, $dU = W$.

Para isso, analisamos o movimento de um pistão como representado na Figura 7.

Figura 7: Trabalho de compressão.



Fonte: Adaptado de Termodinâmica UFF (2014).

Nesse movimento, o pistão irá comprimir o gás presente no recipiente. O trabalho de compressão é definido pelo produto escalar entre a força aplicada ao pistão e o deslocamento que o pistão irá sofrer. Ao inserirmos um circuito no sistema, teremos, também o trabalho relacionado a outras formas que não à compressão, dessa maneira, o trabalho realizado é expresso por:

$$W = W_{\text{compressão}} + W_{\text{outros}}. \quad (13)$$

No caso do ciclo Otto, há apenas o termo relativo ao trabalho de compressão, de modo que

$$W_{\text{compressão}} = F \cdot A \cdot \Delta x, \quad (14)$$

$$W_{\text{compressão}} = -P \cdot \Delta V, \quad (15)$$

onde ocorre a diminuição do volume, ou seja, V_{final} é menor do que o V_{inicial} , conforme representado na Figura 7. Uma vez que a variação do volume é um valor negativo, o sinal negativo à frente faz com que o trabalho realizado sobre o gás seja positivo, tornando a equação coerente com a convenção de sinais adotada logo após a equação (11). A equação (15) é

verdadeira para um pequeno volume e, se quisermos determinar o trabalho para um processo macroscópico, precisamos integrar a equação (15) conforme realizado a seguir.

Para um gás ideal, de acordo com a equação (6), a energia interna é somente a energia cinética de translação. Assim, como $U = E_{cm}$, podemos escrever $dU = \frac{3}{2}NkdT$. Usando a equação dos gases ideais, podemos relacionar a variação de temperatura com a variação de volume para um processo adiabático.

$$\frac{3}{2}NkdT = -PdV \quad (16)$$

$$\frac{3}{2}NkdT = -\frac{NkT}{V}dV \quad (17)$$

$$\frac{3}{2}\frac{dT}{T} = -\frac{dV}{V} \quad (18)$$

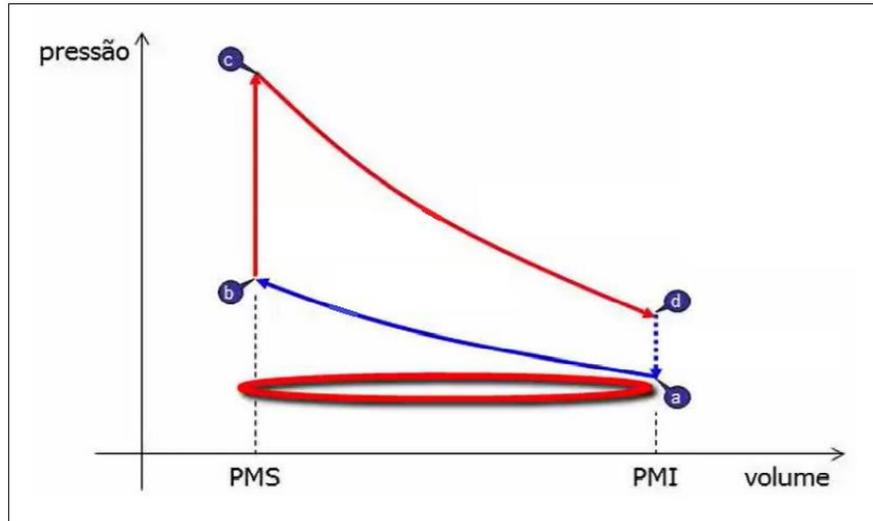
$$\frac{3}{2}\ln\frac{T_f}{T_i} = \ln\frac{V_i}{V_f} \quad (19)$$

$$\left(\frac{T_f}{T_i}\right)^{3/2} = \left(\frac{V_i}{V_f}\right) \quad (20)$$

$$V_f(T_f)^{3/2} = V_i(T_i)^{3/2}. \quad (21)$$

Retomando o ciclo Otto e analisando a variação de energia interna para cada etapa, observamos o comportamento da temperatura nas transformações descritas a seguir. Primeiramente, podemos fazer algumas simplificações: (i) a área que envolve os processos de aspiração e o final da exaustão é muito pequena, logo o trabalho pode ser desprezado; (ii) o fluido de trabalho, ou seja, o gás contido no sistema fechado em análise é o ar que se comporta como um gás perfeito (SELEGHIM, 2015). Dessa maneira, o ciclo teórico representado na Figura 8 abaixo.

Figura 8: Ciclo teórico.



Fonte: Adaptado de Selegim (2015).

A seguir, apresentamos uma análise das etapas do ciclo Otto a partir da equação geral dos gases ideais.

- Etapa de **a** até **b** representa uma compressão com a diminuição do volume e aumento da pressão sendo um processo adiabático onde o sistema recebe energia por trabalho havendo o aumento da variação da energia interna, isto é, a temperatura final será maior que a inicial;

$$\frac{P_a V_a}{T_a} = \frac{P_b V_b}{T_b}, \quad (22)$$

Onde $P_a > P_b$, $V_a < V_b$. Desse modo,

$$\frac{T_b}{T_a} = \frac{P_b V_b}{P_a V_a} > 0. \quad (23)$$

Logo, $T_b > T_a$, ou seja, há um aumento de temperatura nesse processo.

- Etapa de **b** a **c**, combustão, ocorre a volume constante com o aumento da pressão onde o sistema recebe energia por calor havendo o aumento da variação da energia interna, logo a temperatura final será maior que a inicial

$$\frac{P_b}{T_b} = \frac{P_c}{T_c} \quad (24)$$

$$\frac{T_c}{T_b} = \frac{P_c}{P_b} > 0, T_c > T_b. \quad (25)$$

- Etapa de **c** a **d** representa uma expansão com o aumento do volume e diminuição da pressão sendo um processo adiabático onde o sistema libera energia por trabalho havendo a diminuição da variação de energia interna, portanto, a temperatura final será menor que a inicial

$$\frac{P_c V_c}{T_c} = \frac{P_d V_d}{T_d}, \quad (26)$$

Com $P_d < P_c$, $V_d > V_c$, assim

$$\frac{T_c}{T_d} = \frac{P_c V_c}{P_d V_d} > 0, T_d < T_c. \quad (27)$$

- Etapa de **d** a **a**, exaustão, ocorre a volume constante com a diminuição da pressão onde o sistema libera energia por trabalho havendo a diminuição da variação de energia interna, desse modo, a temperatura final será menor que a inicial.

$$\frac{P_d}{T_d} = \frac{P_a}{V_a}, \quad (28)$$

$$\frac{T_d}{T_a} = \frac{P_d}{P_a} > 0, T_a < T_d. \quad (29)$$

Podemos resumir o ciclo e suas variáveis conforme o Quadro 3 a seguir:

Quadro 3: Ciclo Otto e as variáveis termodinâmicas.

Compressão (a – b)	Combustão (b – c)	Expansão (c – d)	Exaustão (d – a)
$T_b > T_a$ $T \uparrow$ $Q = 0$ $\Delta U = W > 0$ $\Delta U \uparrow$	$T_c > T_b$ $T \uparrow$ $\Delta V = 0, W = 0$ $\Delta U = Q > 0$ $\Delta U \uparrow$	$T_d < T_c$ $T \downarrow$ $Q = 0$ $\Delta U = W < 0$ $\Delta U \downarrow$	$T_a < T_d$ $T \downarrow$ $\Delta V = 0, W = 0$ $\Delta U = Q < 0$ $\Delta U \downarrow$

Fonte: Elaboração própria.

Em síntese, na compressão ($a - b$) há o aumento de temperatura sem troca de energia térmica por calor e o pistão realizou trabalho sobre o gás; na combustão ($b - c$) há o fornecimento de energia térmica por calor com o aumento da temperatura sem a realização de trabalho; na expansão ($c - d$) o gás realiza trabalho sobre o pistão com a diminuição de sua temperatura sem que haja troca de energia térmica por calor; na exaustão ($d - a$) há a liberação de energia térmica por calor para o meio com a diminuição da temperatura do gás sem a realização de trabalho.

2.3 RENDIMENTO E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

O dicionário define o rendimento como sendo a eficiência de uma produção ou produtividade de algo na execução de uma tarefa e, na Física, esse desempenho é expresso através da razão entre o trabalho realizado e a energia consumida (HOUAISS e VILLAR, 2009). Especificamente no caso de uma máquina térmica, Nussenzveig (2002) define o rendimento (η) como sendo a razão entre o trabalho mecânico útil (W) realizado pela energia térmica investida, isto é, o calor consumido pelo motor (Q).

$$\eta = \frac{W}{Q}. \quad (30)$$

Ainda sobre a máquina térmica, no contexto da Segunda Lei da Termodinâmica, é importante destacar que este trabalho útil é aquele que será realizado **pelo** sistema (gás) sobre o pistão será positivo ($W = \int P \cdot dV$), pois a discussão principal é sobre o rendimento da máquina. Neste caso, a variação da energia interna pode ser escrita como:

$$\Delta U = Q - W. \quad (31)$$

Se combinarmos as equações (30) e (31), podemos reescrever o rendimento como sendo:

$$\eta = 1 - \frac{\Delta U}{Q}. \quad (32)$$

Estudando sobre o rendimento de máquinas térmicas com o objetivo de melhorar sua eficiência, o engenheiro militar francês Nicolas Léonard Sadi Carnot, filho de Lazare Carnot, um famoso general e ministro de Napoleão Bonaparte⁹, descobriu os princípios basilares que lideraram a descoberta do que posteriormente foi chamada de Segunda Lei da Termodinâmica (SRINIVASAN, 2001).

Em seus estudos, Carnot idealizou um ciclo de operação que promoveria o rendimento máximo em uma máquina térmica. Nesse ciclo o motor operaria entre duas fontes térmicas a temperaturas diferentes, a saber: T_Q (temperatura da fonte quente), e T_F (temperatura da fonte fria). Além disso, ele compreendeu que se uma máquina operar no ciclo que propôs, a energia térmica injetada é diretamente proporcional à temperatura da fonte quente e a energia não utilizada em trabalho é diretamente proporcional à temperatura da fonte fria (NUSSENZVEIG, 2002), de modo que:

⁹ Lazare Carnot é conhecido como o organizador das vitórias nas guerras revolucionárias francesas. Seu outro filho, o deputado Lazare Hippolyte Carnot, foi pai de Marie François Sadi Carnot, 5º presidente da França e copríncipe de Andorra (BRITANNICA, 2022).

$$\frac{\Delta U}{Q} = \frac{T_F}{T_Q}. \quad (33)$$

Assim, ao combinarmos a equação (33) com a (32), podemos dizer que o rendimento máximo de uma máquina térmica é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q}. \quad (34)$$

Podemos ter duas conclusões a partir dessa equação:

- 1) O rendimento máximo não é de 100% mesmo em uma máquina térmica teórica;
- 2) Para que o valor de η seja de 100%, é preciso que sua fonte fria opere no zero absoluto ($0K$) – o que é impossível.

Nisso, entendemos porque os trabalhos de Carnot prepararam o terreno para a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica, visto que um de seus enunciados, o proposto por Lorde Kelvin e Max Planck, diz ser “(...) impossível construir uma máquina, operando em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho” (RAMALHO JUNIOR, FERRARO e SOARES, 2007, p. 191).

No capítulo a seguir, apresentamos os aspectos relacionados ao movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

3. CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE (CTS)

O presente capítulo apresenta uma discussão sobre o movimento CTS sendo organizado em três seções. A primeira seção apresenta os pressupostos epistemológicos e conceitos-chave presentes no enfoque CTS, a segunda trata das visões da tecnologia e a terceira apresenta os pressupostos didático-metodológicos.

3.1 PRESSUPOSTOS EPISTEMOLÓGICOS E CONCEITOS-CHAVE EM CTS

Esta seção parte do histórico do movimento CTS perpassando pelo contexto dos Estados Unidos da América (EUA) e dos países latino-americanos, com ênfase no Brasil, apresentando os marcos do movimento CTS e de sua repercussão no âmbito educacional no contexto brasileiro. Em seguida, apresentamos as esferas CTS como prática científica – prática tecnológica – temas sociais, destacando, também as inter-relações CTS.

Os Estados Unidos da América (EUA) se consolidaram como potência industrial com a construção do canal do Panamá (DOCUMENTARIOS BM, 2013), inaugurado em 1914, história marcada pela construção dos monopólios do aço e do petróleo, entre outros, a partir do trabalho da classe trabalhadora sem o suporte de direitos trabalhistas, ou seja, sob as condições dos grandes monopólios. Uma nova era surgiu com outros industriais como Henry Ford (1863-1947), onde, então, houve a elaboração de alguns direitos trabalhistas e a mecanização do trabalho. Até aquele momento, tivemos os EUA determinando sua dominação e sua referência como modelo social, construindo uma sociedade que saiba seguir ordens, executar sequências de comandos e que pudesse consumir os produtos ofertados pela classe dominante, ou seja, os produtos ofertados pelos detentores do controle sobre a produção industrial (DOCUMENTARIOS BM, 2013).

Em 1947, com o início da Guerra Fria, “houve uma corrida de alguns países para apressar a formação de cientistas, o que levou à elaboração de projetos curriculares que preconizavam a vivência do método científico (...)” (SANTOS, 2011, p. 22). Percebemos, então, a concretização de uma sociedade baseada no domínio tecnológico influenciado por um fazer científico que seguia instruções da elite detentora deste domínio, como exposto acima. No entanto, a construção dessa sociedade, até então focada no controle e uso da natureza visando o avanço tecnológico (OLIVEIRA, 2008), apresentou um colapso impulsionado pelo

agravamento dos problemas ambientais, como a utilização de napalm¹⁰ na guerra do Vietnã, como apontam Auler e Bazzo (2001):

Após uma euforia inicial com os resultados do avanço científico e tecnológico, nas décadas de 1960 e 1970, a degradação ambiental, bem como a vinculação do desenvolvimento científico e tecnológico à guerra (as bombas atômicas, a guerra do Vietnã com seu napalm desfolhante) fizeram com que a ciência e a tecnologia (C&T) se tornassem alvo de um olhar mais crítico (AULER; BAZZO, 2001, p. 1).

Neste contexto de desaprovação ao modelo desenvolvimentista, no qual se entende que o desenvolvimento social vai se dar a partir do avanço científico e tecnológico, Santos (2011) aponta dois motivos para o surgimento do movimento CTS:

(...) em função de problemas ambientais gerados pelo cenário socioeconômico da CT, como em função de uma mudança de visão sobre a natureza da ciência e do seu papel na sociedade, o que possibilitou a sua contribuição para a educação em ciências na perspectiva de formação para cidadania” (SANTOS, 2011, p. 23).

Isto é, há um questionamento quanto ao posicionamento da Ciência e Tecnologia (CT) sendo colocado em questão a política de ciência e tecnologia, preconizando um maior poder de decisão por parte da sociedade em geral, e não apenas dos especialistas. Em outras palavras, o movimento CTS “se caracteriza como um movimento social mais amplo de discussão pública sobre políticas de ciência e tecnologia” (SANTOS, 2011, p. 22-23). Para ilustrar tais afirmações temos, no movimento CTS, o objetivo de colocar o processo de tomada de decisão em relação a CT indo de encontro ao Modelo Tradicional/Linear de Progresso (MTLP), como será discutido mais a frente neste capítulo.

Em contrapartida ao contexto estadunidense, nos países ibéricos, “principalmente nas colônias” (AULER; BAZZO, 2001, p. 4), desenvolveu-se uma sociedade que vivia da exploração do meio e da mão de obra escravizada. Nesse modelo, ocorreu a ascensão e determinação de uma “visão pragmática e imediatista” (AULER; BAZZO, 2001, p. 4). Posteriormente, durante o processo de industrialização, o Brasil foi marcado pela importação de tecnologia e de técnicos (AULER; BAZZO, 2001). Dito de outra maneira, como aponta Dagnino (2008), no Brasil ocorreu a construção de uma sociedade submissa e dependente do

¹⁰ “Napalm é um conjunto de líquidos inflamáveis, à base de Gasolina gelificada, utilizados como armamento militar. O Napalm é na realidade o agente espessante de tais líquidos, que quando misturado com gasolina a transforma num gel pegajoso e incendiário”. Disponível em <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1588&evento=4> Acesso em 16 jun.2022.

poderio industrial que fez parte da construção dos EUA. Ele explicita esse aspecto comparando a Espanha, o Brasil e a Argentina:

Embora tenha havido nas histórias do Brasil e da Argentina um longo período de dependência política de tipo metrópole-colônia, caracterizada por uma imbricação entre os planos político, econômico e cultural, a dependência científico-tecnológica que mais modernamente se estabelece como decorrência passa a ser, a partir daí, um traço comum aos três países (DAGNINO, 2008, p. 13).

Desse modo, tendo em vista o modelo social brasileiro, refletimos sobre como se deu o surgimento do movimento CTS no contexto da educação em ciências: estaríamos importando currículos desenvolvidos nos EUA? Santos (2008) aponta que o Brasil na década de 1970 já apresentava

a preocupação de educadores do ensino de ciências em incorporar no currículo dessas disciplinas temáticas relativas às implicações da ciência na sociedade. Em 1990, foi organizada pelo Ministro da Educação, em Brasília, a “Conferência Internacional sobre Ensino de Ciências para o Século XXI: ACT – Alfabetização em ciência e tecnologia”, na qual foram apresentados vários trabalhos do movimento internacional de Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) no ensino de ciências (SANTOS, 2008, p. 109).

A partir daí foram desenvolvidos trabalhos no campo de CTS abrindo o leque para diferentes interpretações e vertentes do enfoque CTS¹¹. Resumindo, o movimento CTS se iniciou num contexto de crítica em relação a influência social sobre a CT, seja no âmbito da sociedade de forma ampla, seja no âmbito educacional.

No âmbito da educação, como afirma Auler (2007), alguns dos objetivos da educação CTS são: “(i) discutir as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da ciência-tecnologia (CT)” e “(ii) formar cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados capazes de tomar decisões informadas e desenvolver o pensamento crítico e a independência intelectual” (AULER, 2007, p. 1). Corroborando com tais objetivos, Dagnino (2008) ainda afirma que o movimento CTS evidencia e discute as relações entre ciência, tecnologia e sociedade

(...) de maneira menos ingênua (...), destacando também os aspectos negativos associados ao “avanço” científico e tecnológico sobre a sociedade, a partir de perspectivas ambientais, políticas, econômicas, sociológicas etc. (DAGNINO, 2008, p. 6).

¹¹ No capítulo referente ao desenvolvimento da sequência didática, mais adiante nesta dissertação, apresentamos uma análise de alguns trabalhos desenvolvidos sob a enfoque CTS, mostrando-se importante a retomada da reflexão proposta acima e a compreensão do desenvolvimento do movimento CTS no contexto educacional brasileiro.

Portanto, o enfoque CTS apresenta uma proposta de desconstrução da sociedade dominada pelo avanço tecnológico, buscando uma sociedade possuidora de recursos capazes de questionar e analisar tal domínio, com o objetivo de construir uma outra sociedade pautada em valores coletivos, “como os de solidariedade, de fraternidade” e “de consciência do compromisso social” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 114). Para tanto, o enfoque CTS abrange discussões acerca das esferas Ciência-Tecnologia-Sociedade (C-T-S), onde encontram-se questões sobre as naturezas da ciência, tecnologia e sociedade (CHRISPINO, 2017; SANTOS, 1992), esclarecidas, a seguir, através da síntese apresentada no Quadro 4.

Quadro 4: As esferas C-T-S

Aspectos CTS	Esclarecimentos	Exemplos sobre máquinas térmicas
Natureza da Ciência.	Ciência é uma busca de conhecimentos dentro de uma perspectiva social.	Desenvolvimento do motor a vapor atendendo à demanda da burguesia.
Natureza da Tecnologia.	Tecnologia envolve o uso do conhecimento científico e de outros conhecimentos para resolver problemas práticos.	Trabalho de Joule na busca por um motor mais eficiente.
Natureza da Sociedade.	A sociedade é uma instituição humana na qual ocorrem mudanças científicas e tecnológicas.	Condições políticas, acúmulo de capital: revolução industrial.

Fonte: Adaptado de Chrispino (2017) e Santos (1992).

Adotamos as esferas C-T-S como **prática científica – prática tecnológica – temas sociais** com a intenção de desvincular a relação entre ciência e a tecnologia de um desenvolvimento da ciência que gira em torno da concepção e produção de um artefato tecnológico, associando assim o uso deste artefato aos desenvolvimentos econômico e social (DAGNINO, 2014; AULER, 2007; SANTOS; MORTIMER, 2000). Desse modo, ao utilizarmos o termo prática científica chamamos a atenção para as discussões relativas à natureza da ciência. De forma semelhante ocorre com os termos prática tecnológica e temas sociais. Assim, pretendemos destacar

(...) como os contextos social, cultural e ambiental, nos quais se situam a ciência e a tecnologia, influenciam a condução e o contexto das mesmas; como ciência e tecnologia, por sua vez, influenciam aqueles contextos e, finalmente, como ciência e tecnologia têm efeitos recíprocos e suas inter-relações variam de época para época e de lugar para lugar (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 120-121).

Ou seja, destacar as influências recíprocas que C-T-S sofrem, como o efeito da ciência sobre a tecnologia em que “a produção de novos conhecimentos tem estimulado mudanças tecnológicas” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 121). Assim, ao tratarmos da prática científica, abordamos as questões de natureza da ciência de maneira a evidenciar as relações

recíprocas entre ciência, tecnologia e sociedade – relações presentes no enfoque CTS. Segundo Moura (2014), a natureza da ciência pode ser

(...) entendida como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas (MOURA, 2014, p. 32).

No sentido de evidenciar as relações entre as esferas C-T-S, Oliveira (2008) aponta diferentes teses sobre a neutralidade da ciência caracterizadas pelos diferentes valores¹² presentes em diferentes grupos sociais. A primeira tese diz sobre a escolha dos problemas a serem tratados pela ciência, denominada **tese da neutralidade temática**, a qual determina que

a ciência é neutra porque o direcionamento da pesquisa científica, isto é, a escolha dos temas e problemas a serem investigados, responde apenas ao interesse em desenvolver o conhecimento como um fim em si mesmo (OLIVEIRA, 2008, p. 98).

Essa questão é retomada no contexto da máquina a vapor e de sua substituição pelo motor elétrico discutidos mais adiante no texto.

A segunda tese trata sobre o método científico¹³, visão algorítmica, e é denominada **tese da neutralidade metodológica**; onde a neutralidade da ciência se justifica pela procedência “de acordo com o método científico, segundo o qual a escolha racional entre as teorias não deve envolver, e de maneira geral não tem envolvido, valores sociais” (OLIVEIRA, 2008, p. 98). E, em relação ao conteúdo desenvolvido pela ciência, Oliveira (2008) aponta a **tese da neutralidade factual** que determina a ciência como neutra “porque não envolve juízos de valor; ela apenas descreve a realidade, sem fazer prescrições; suas proposições são puramente factuais” (OLIVEIRA, 2008, p. 98).

Portanto, levando em consideração as questões de natureza da ciência e o processo de construção de conhecimentos científicos, o enfoque CTS apresenta a ciência como uma prática que se relaciona com questões de natureza externa (sociológica, histórica etc.) e interna à própria ciência (filosófica etc.), como esclarecem Santos e Mortimer (2000):

¹² Segundo Oliveira (2008), os valores, nesse contexto, “são os valores sociais, definidos como aqueles que podem variar de cultura para cultura, de época para época, ao longo da história de cada cultura, e de grupo social para grupo social” (OLIVEIRA, 2008, p. 98).

¹³ Segundo Delizoicov e Auler (2011), o método científico “(...) na concepção clássica, é responsável pela produção de um conhecimento imune à influência de fatores externos (...). Esse método significaria a garantia de que apenas fatores epistêmicos (lógica + experiência) participam da elaboração deste conhecimento” (DELIZOICOV e AULER, 2011, p. 247).

1. **filosófica** – que incluiria, entre outros, aspectos éticos do trabalho científico, o impacto das descobertas científicas sobre a sociedade e a responsabilidade social dos cientistas no exercício de suas atividades;
2. **sociológica** – que incluiria a discussão sobre as influências da ciência e tecnologia sobre a sociedade e dessa última sobre o progresso científico e tecnológico; e as limitações e possibilidades de se usar a ciência e a tecnologia para resolver problemas sociais;
3. **histórica** – que incluiria discutir a influência da atividade científica e tecnológica na história da humanidade, bem como os efeitos de eventos históricos no crescimento da ciência e da tecnologia;
4. **política** – que passa pelas interações entre a ciência e a tecnologia e os sistemas público, de governo e legal; a tomada de decisão sobre a ciência e tecnologia; o uso político da ciência e tecnologia; ciência, tecnologia, defesa nacional e políticas globais;
5. **econômica** – com foco nas interações entre condições econômicas e a ciência e a tecnologia, contribuições dessas atividades para o desenvolvimento econômico e industrial, tecnologia e indústria, consumismo, emprego em ciência e tecnologia, e
6. **humanística** – aspectos estéticos, criativos e culturais da atividade científica, os efeitos do desenvolvimento científico sobre a literatura e as artes, e a influência das humanidades na ciência e tecnologia (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 116 – grifos no original).

De maneira a exemplificar as questões de natureza da ciência, apresentadas anteriormente, no contexto da prática científica, vamos considerar a construção da máquina a vapor que se deu na ascensão do capitalismo na Europa. Percebemos, então, que o capitalismo se mostrou o definidor dos valores sociais e do desenvolvimento científico e tecnológico da época, como representado no Quadro 5.

Quadro 5: Prática científica e os aspectos do enfoque CTS.

Questões de natureza	Exemplo
Filosófica	Produção científica focada na solução de problemas para a burguesia.
Sociológica	A divisão do trabalho e o fazer científico baseados no modelo capitalista.
Histórica	O desenvolvimento da teoria da termodinâmica foi favorável por estar inserido no contexto da revolução industrial.
Política	Ascensão do capitalismo.
Econômica	A busca pelo lucro, presente no capitalismo, dita formas “eficientes” de obtenção do trabalho e matérias-primas.
Humanística	Naturalismo: cartas das expedições marítimas.

Fonte: Elaboração própria a partir de Pereira e Lambach (2017) e Sevcenko (2006).

Partimos, assim, da questão de natureza sociológica onde o modelo capitalista pareceu determinar características para a sociedade e traçou o caminho que a ciência e tecnologia

deveriam percorrer, colocando em xeque, neste exemplo, a visão descontextualiza da ciência. Como apontam Pereira e Lambach (2017), no contexto da construção da máquina a vapor,

(...) ocorre a ascensão do modo de produção capitalista, com a divisão do trabalho (realizado pelo proletariado) e intelectual (sob controle do detentor dos meios de produção), a alienação do trabalho, e a produção visando o lucro. Isso determina um importante valor social da época (que permanece até hoje): a busca pelo crescimento econômico indeterminado (PEREIRA; LAMBACH, 2017, p. 4-5).

Logo, observamos que a ciência foi desenvolvida sob os valores de mercado determinados na época, pois “a escolha dos problemas a serem resolvidos foi afetada pela revolução industrial” (PEREIRA; LAMBACH, 2017, p. 7). Isto é, tivemos uma ciência em prol do desenvolvimento de uma tecnologia que contribuiu para o enriquecimento de uma classe que a controlava, a burguesia. Assim, os conhecimentos científicos desenvolvidos nessa época não foram produzidos única e exclusivamente em prol da ciência destacando a não neutralidade tanto da ciência quanto da tecnologia.

Em suma, a partir do contexto socioeconômico da construção e desenvolvimento da máquina a vapor que apresentamos de forma sucinta, que dentro do enfoque CTS, a esfera da ciência não se limita a enunciar o conteúdo científico; no caso da construção da máquina a vapor, enunciar os conceitos de “calor” e “trabalho”, por exemplo. A discussão de tais conceitos está interligada às questões de natureza da ciência, como foram apontadas no Quadro 5.

De maneira análoga, no enfoque CTS, a tecnologia não está apenas relacionada ao uso de determinado artefato tecnológico. Santos e Mortimer (2000) apresentam a tecnologia como uma prática que se relaciona com seus aspectos técnico, organizacional e cultural. Dentro dessa perspectiva, explicamos os aspectos da prática tecnológica trazendo um pouco da jornada de Joule em sua busca pela substituição do motor a vapor pelo motor elétrico, resumida no Quadro 6. É importante, então, ter clareza com relação a representação dos aspectos da prática tecnológica por Santos e Mortimer (2000), os quais são esclarecidos a seguir.

1. **aspecto técnico:** conhecimentos, habilidades e técnicas; instrumentos, ferramentas e máquinas; recursos humanos e materiais; matérias primas, produtos obtidos, dejetos e resíduos;
2. **aspecto organizacional:** atividade econômica e industrial; atividade profissional dos engenheiros, técnicos e operários da produção; usuários e consumidores; sindicatos;
3. **aspecto cultural:** objetivos, sistemas de valores e códigos éticos, crenças sobre o progresso, consciência e criatividade (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 118 – grifos no original).

Partindo-se, assim, da jornada vivida por Joule, começamos por entender e caracterizar o ambiente em que ele desenvolveu seu trabalho. Joule estava imerso no ambiente da Revolução Industrial e teve seu trabalho desenvolvido sob influência dos técnicos da época. Sobre tal aspecto, Queirós, Nardi e Delizoicov (2014), afirmam que no período havia

(...) uma quantidade grande de homens que elaboravam técnicas de maneira artesanal, ou seja, muitos artefatos que foram construídos, não foram no meio acadêmico, e sim, por pessoas da sociedade da época, como industriais e inventores, principalmente, os cervejeiros de Manchester (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV, 2014, p. 104).

Nesse cenário, o objetivo de Joule foi desenvolver um motor mais eficiente, que atendesse às demandas da nova era industrial, assim “as principais motivações de Joule eram técnicas e econômicas” (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV, 2014, p. 102). Em outras palavras, existia um ambiente guiado pelos interesses de economia de mercado, os quais influenciaram o desenvolvimento dos estudos relacionados a ciência e a tecnologia, caracterizando o aspecto organizacional da prática tecnológica, representado no Quadro 6.

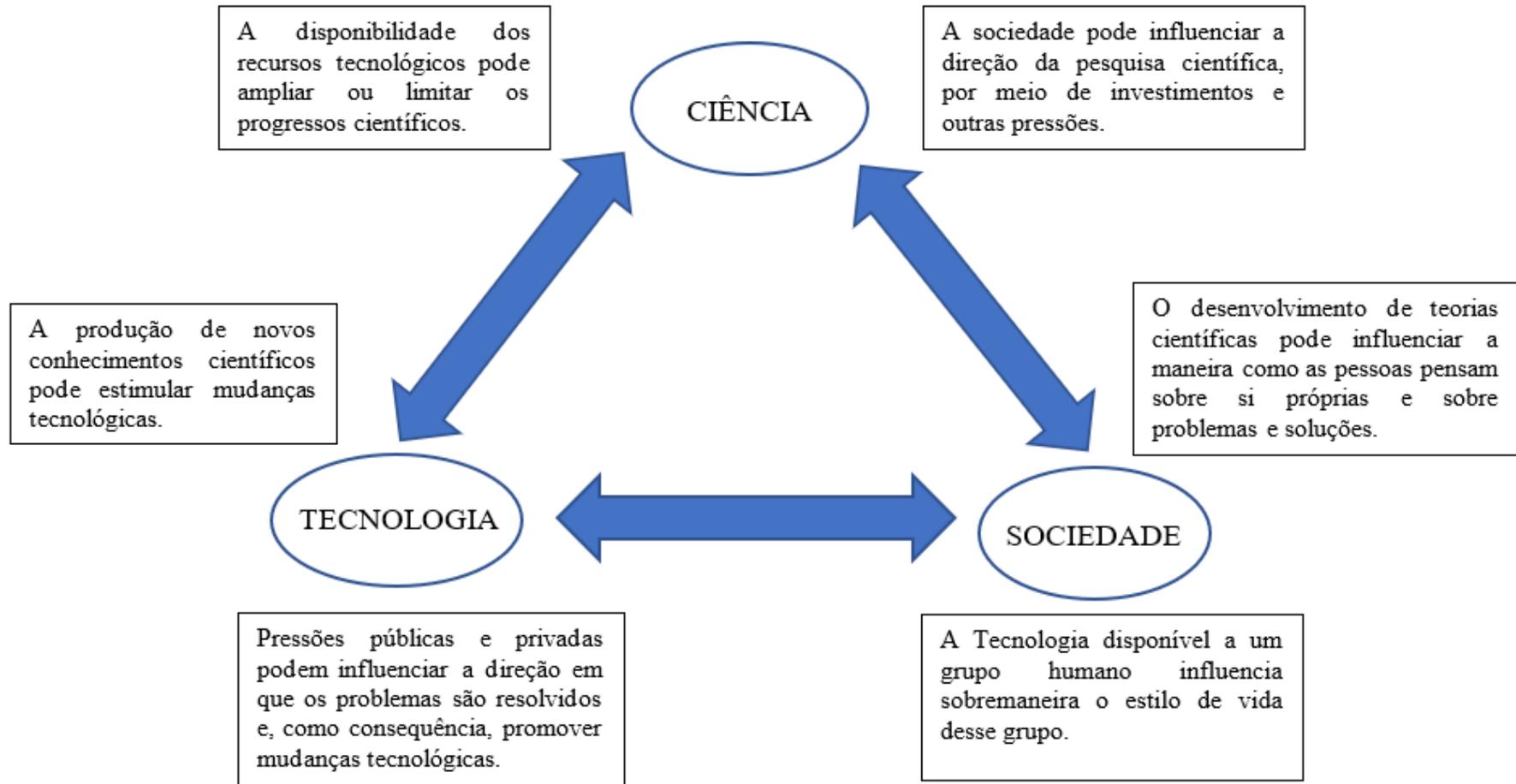
Quadro 6: Prática tecnológica e os aspectos do enfoque CTS.

Prática tecnológica	Exemplo
Aspecto cultural	Substituição do motor a vapor; valores de mercado; desenvolvimento tecnológico em prol do progresso.
Aspecto organizacional	Ambiente tecnicista e industrial.
Aspecto técnico	Engenheiros; trabalhos práticos para aperfeiçoamento das técnicas de cervejaria; transição do trabalho artesanal para o industrial.

Fonte: Elaboração própria a partir de Queirós, Nardi e Delizoicov (2014).

Santos (1992) discursa, ainda, sobre o ensino CTS caracterizado pela correlação de ciência, tecnologia e sociedade destacando, desse modo, a “organização conceitual centrada em temas sociais” (SANTOS, 1992, p. 130). Dito de outra forma, a esfera da sociedade representa a partida e a retomada do enfoque CTS, o que “envolve necessariamente a inclusão dos **temas sociais**” (SANTOS, 1992, p. 139 – grifos nossos). Dessa maneira, pensar em um currículo linear guiado apenas pelos conteúdos científicos pode não representar as interações CTS (SANTOS; MORTIMER, 2000; AULER, 2007; ROSO; AULER, 2016; SANTOS; AULER, 2019). Poder-se-ia, então, pensar em um currículo de forma a destacar as interações CTS, como mostradas na Figura 9.

Figura 9: Interações ciência-tecnologia-sociedade.



Fonte: Oliveira, Silva e Gumieri (2021).

Até o momento apresentamos exemplos relacionados à máquina a vapor: a sua construção e sua posterior substituição pelo motor elétrico, os quais envolveram algumas questões da natureza da ciência e da prática tecnológica. Para sua inserção em um currículo CTS, propõe-se, então, partir de um tema “de relevância social” (AULER, 2007, p. 2). No caso da máquina a vapor, pode-se partir dos seguintes temas: 1. Aquecimento Global: emissão de poluentes por veículos automotores; 2. Indústria: mudança do motor a combustão interna para o motor elétrico; 3. Transporte público na modalidade ônibus (tema da nossa sequência didática) etc.

3.2 VISÕES DA TECNOLOGIA

Na Figura 9, apresentamos as inter-relações entre as esferas CTS, destacando de que maneira estas relações podem influenciar o modo de vida da sociedade e o desenvolvimento da díade CT. Com o objetivo de refletirmos sobre as influências da díade CT em determinado grupo social, apresentamos a seguir as visões da tecnologia segundo a perspectiva proposta por Dagnino, Brandão e Novaes (2004) e Dagnino (2010, 2011, 2014) que abarca como categorias o **Instrumentalismo**, o **Determinismo**, o **Substantivismo** e a **Teoria Crítica** ou **Adequação Sociotécnica (AST)**. Destacamos que, embora os autores façam essa discussão no campo dos Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia (ESCT) tendo como objetivo o desenvolvimento do que no Brasil se denominou Tecnologia Social, recentemente diversos trabalhos acadêmicos têm se valido de alguns conceitos discutidos naquele campo, transpondo-os para o ambiente escolar (DELIZOICOV; AULER, 2011; SANTOS; AULER, 2019; ROSO; AULER; DELIZOICOV, 2020).

Considera-se tecnologia social todo o produto, método, processo ou técnica, criado para solucionar algum tipo de problema social e que atenda aos quesitos de simplicidade, baixo custo, fácil aplicabilidade (e reaplicabilidade) e impacto social comprovado (DAGNINO, R. 2020, p. 44-45). Aqui, vamos prescindir de abordar as questões relativas ao conceito de tecnologia social, uma vez que tal discussão está fora do escopo deste trabalho.

Portanto, considerando nossa proposta neste trabalho de compreender as concepções sobre as relações CT de um grupo de pessoas – no nosso caso, estudantes – a partir da análise das visões da tecnologia, tomamos as noções abordadas no ensino. Para a análise das visões da tecnologia apresentamos os esclarecimentos de alguns conceitos no Quadro 7, os quais entendemos como necessários para tal análise.

Quadro 7: Conceitos-chave presentes nas visões da tecnologia.

Eixos	Características
Controlável pelo homem	O grupo detentor da tecnologia regulamenta seu uso e seu desenvolvimento.
Neutra	Ignora-se as relações presentes entre a tecnologia, a ciência e o grupo social. O conhecimento e o desenvolvimento da tecnologia não levam em conta as questões que se desenrolam no contexto social deles.
Autônoma	A tecnologia dirige a si mesma.
Condicionada por valores	Valores determinados pelo grupo que detém a tecnologia, podendo ser desde obtenção de lucro a valores coletivos, como compromisso social.

Fonte: Elaboração própria a partir de Dagnino (2010, 2014); Moura (2014); Oliveira (2008).

Para caracterizar as visões da tecnologia, também retornaremos ao exemplo da máquina a vapor tratado anteriormente quando apresentamos os aspectos da prática tecnológica, as questões da natureza da ciência e as visões deformadas sobre a construção dos conhecimentos científicos e que estão resumidas no Quadro 5 e no Quadro 6.

Começaremos, então, pela construção do modelo de sociedade – que foi apresentado no breve histórico sobre CTS – o qual contribuiu para o entendimento de que há uma relação direta entre desenvolvimento da ciência e da tecnologia e desenvolvimento econômico e social, o que configura o MTLP. Como tratado por Auler (2007), o MTLP pressupõe que "(...) o desenvolvimento científico (DC) gera desenvolvimento tecnológico (DT), este gerando o desenvolvimento econômico (DE) que determina, por sua vez, o desenvolvimento social (DS - bem-estar social)" (AULER, 2007, p. 8).

Dito de outra forma, no MTLP, o desenvolvimento científico gera desenvolvimento tecnológico e, conseqüentemente, desenvolvimento econômico e social, associando o desenvolvimento social a um consumismo materialista, ou seja,

um “modelo de desenvolvimento pautado no (...) **consumismo exacerbado** e (...) **obsoletismo planejado** que o capitalismo em sua fase neoliberal erige como fundamento do virtuosismo da economia de mercado” (DAGNINO, 2010, p. 284 – grifos no original).

Esta constitui a “visão “moderna padrão”, liberal e otimista no progresso” (DAGNINO, 2010, p. 296) denominada instrumentalismo, a qual, em nosso entendimento, se enquadra no contexto da máquina a vapor. No instrumentalismo, a ciência é usada para o desenvolvimento tecnológico e este é usado para atender alguma necessidade de uma parcela da sociedade, no exemplo da máquina a vapor, a sociedade burguesa (PEREIRA; LAMBACH, 2017; DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2004). Dessa forma, como aponta Oliveira (2008),

(...) a natureza se reduz a uma coleção de fatos, desprovida de valor intrínseco, restando apenas o **valor instrumental** para nós. (...) **não há restrição ética** a que a dominemos, tratando-a da maneira que nos aprouver para satisfazer nossas necessidades e desejos, de forma cada vez mais ampla e eficiente graças à aplicação tecnológica do próprio conhecimento científico (OLIVEIRA, 2008, p. 99 – grifos nossos).

Nesta visão, a natureza é revelada pelo homem por meio de uma ciência neutra e verdadeira *a priori*, que leva ao desenvolvimento de uma tecnologia, igualmente neutra e eficiente também *a priori*. Assim, o uso desta tecnologia pode se dar tanto para o bem quanto para o mal pois, embora seu desenvolvimento não seja condicionado por valores (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2004), ela é controlada pelo homem por meio da ética, a qual está relacionada à sociedade e não à CT em si. A título de exemplo, como aponta Dagnino (2010), “nesse sentido (...) a energia nuclear pode ser utilizada tanto para a criação da bomba atômica, quanto para curar enfermidade, ou para o desenvolvimento da medicina nuclear” (DAGNINO, 2010, p. 296).

No contexto de uma visão descontextualizada da ciência, o referido autor aponta que a neutralidade de CT “é coerente com a noção de progresso como uma sucessão de fases ao longo de um tempo linear e homogêneo dando origem a resultados melhorados sucessiva, contínua e cumulativamente” (DAGNINO, 2002, p. 4). Nesse sentido, no determinismo,

A ideia é de que a ciência é neutra e inerentemente boa, e que ela é utilizada para servir a um modo de produção que está baseado na exploração do homem pelo homem, mas amanhã, quando essa ciência e essa tecnologia estiverem sendo usadas em outro projeto político, apropriadas pela classe trabalhadora, construirá (...) um modelo social, econômica e ambientalmente sustentável (DAGNINO, 2010, p. 298).

Em outras palavras, enquanto no instrumentalismo o homem determina o desenvolvimento tecnológico a partir do seu controle sobre este, no determinismo, a tecnologia determina o seu próprio desenvolvimento de forma endógena, pois é autônoma, e, conseqüentemente, promove o progresso social, como preconiza o MTLP. Desse modo, o determinismo associa o avanço da tecnologia ao desenvolvimento social. No contexto da máquina a vapor, Pereira e Lambach (2017) destacam que os desenvolvimentos tecnológicos e as mudanças sociais ocorridas no século XIX não tiveram origem em uma teoria da termodinâmica, mas sim que “(...) os valores sociais que se tornaram hegemônicos com o advento do capitalismo moderno passaram a permear as diversas instituições sociais” (PEREIRA; LAMBACH, 2017, p. 4).

Em resumo, estas duas formas de enxergar a tecnologia aceitam a sua neutralidade como pressuposto. Mas, no instrumentalismo, não há a intensão de mudança “(...) nas relações sociais e modos de produção, segue vigente o capitalismo” (DAGNINO, p. 104, 2014). Assim, o capitalismo poderia representar um sistema que modifica ou não a estrutura social, o que ficaria então sob a responsabilidade de uma ética, a qual é extrínseca ao próprio conhecimento científico e tecnológico. No determinismo, essa mudança social está sob a responsabilidade da classe trabalhadora que, a partir do momento em que ela passe a controlar essa tecnologia inerentemente boa, isso seria “(...) suficiente para impulsionar a transição do capitalismo ao socialismo” (DAGNINO, p. 104, 2014), o qual é entendido pelos adeptos desta visão como sendo um melhor modelo de sociedade. Portanto, o pressuposto da neutralidade da tecnologia tem como consequência imediata a crença de que ela pode servir a qualquer estrutura econômica.

Ainda sobre a tecnologia autônoma, no substantivismo, Dagnino (2010) aponta que esta visão “afirma que os meios e os fins são determinados pelo sistema capitalista” (DAGNINO, 2010, p. 299). Desta forma, a tecnologia perde o seu caráter instrumental e passa a incorporar um valor que é definido pelo modo de produção capitalista e, portanto, é incapaz de servir a outros propósitos, sejam eles individuais ou coletivos (sociais). Ou seja, é conferido à CT um valor substantivo que assume “o compromisso com uma concepção específica do bem-viver” (DAGNINO; SILVA; PADOVANNI, 2011, p. 119-120). Em outras palavras, há um compromisso com os valores determinados pelo grupo social (DAGNINO; SILVA; PADOVANNI, 2011), determinando o uso da tecnologia. Assim, no substantivismo, a CT

carregaria consigo valores que têm o mesmo caráter exclusivo das religiões que estipulam as crenças, orientam a conduta e conformam ideologicamente o inconsciente coletivo de grupos sociais. A tecnociência capitalista tenderia inevitavelmente a se afinar com os valores imanentes da “sociedade tecnológica”, como a eficiência, o controle e o poder (DAGNINO, 2014, p. 104-105).

Embora tanto o determinismo quanto o substantivismo advoguem a favor da autonomia da CT, o primeiro é otimista, pois acredita que essa CT capitalista possa servir a um outro modelo de sociedade em determinadas circunstâncias; o segundo, por sua vez, é pessimista, pois pressupõe que essa CT conforma a sociedade de acordo com os seus valores de bem-estar, de modo a impedir qualquer tentativa de construir outro modelo de sociedade com valores distintos dos seus (DAGNINO, 2014). Nesta visão estariam incluídas as distopias tecnológicas, como o famoso livro “Admirável Mundo Novo” e, mais recentemente, a série não menos famosa “*Black Mirror*”.

Nesse sentido, observando o histórico da máquina a vapor, Joule, baseado nos valores de mercado da época – que acabam por constituir os valores presentes até a atualidade – propôs a substituição do motor a vapor pelo motor elétrico.

Ainda no contexto de Joule, percebemos que os valores de mercado mencionados se preocupavam com a classe que detinha o poder, ou seja, a classe que dominava e determinava o crescimento do mercado. No entanto, essa ideia de progresso vinculado ao comprometimento com a boa condição social, como preconiza o MLTP, passa a ser colocada em discussão com a degradação ambiental que começou a ser destacada nas décadas de 1960 e 1970. Ou seja, ao tomarmos esses valores como aqueles que “estão vinculados aos **interesses coletivos**, como os de solidariedade, de fraternidade, de consciência do compromisso social, de reciprocidade, de respeito ao próximo e de generosidade” (SANTOS; MORTIMER, p. 114, 2000 – grifos nossos), passamos a assumir que a tecnologia, não-neutra, assume valores voltados para a coletividade, caracterizando a visão da tecnologia denominada AST (DAGNINO, 2010).

Nesta visão, a CT pode ser controlada pelo homem, o que representa uma concordância com o instrumentalismo, e é portadora dos valores capitalistas “(...) com características específicas, que os reproduzem e reforçam (...) e que inibem a mudança social” (DAGNINO, 2014, p. 105), como propõe o substantivismo. No entanto, para os partidários da AST,

A tecnociência não é percebida como uma ferramenta capaz de ser usada para qualquer projeto político ou em qualquer regime social de acumulação como pensam, otimisticamente, os partidários do Determinismo. Nem como algo que deve ser usado e orientado pela “Ética”, como ingênua ou cingicamente querem os Instrumentalistas. Tampouco como um apêndice indissociável de valores e estilos de vida particulares, privilegiados em função de uma escolha (ou imposição) feita na sociedade, como os Substantivistas (DAGNINO, 2014, p. 105).

Na perspectiva da AST, destaca-se a percepção de que a tecnologia pode ser utilizada para propósitos distintos daqueles para os quais ela foi originalmente concebida, caracterizando, assim, uma possível liberdade em seu uso. Isto é, a tecnologia ainda pode ser a solução para os problemas enfrentados por determinado grupo social,

desde que reprojeta (...), poderia servir de suporte a diferentes estilos de vida, cada um refletindo diferentes propostas a respeito do bem-viver. Isto resultaria em escolhas de projetos diferentes, dado que orientadas por interesses e valores (alternativos). (...) Para a adequação sociotécnica, as tecnologias não compreendidas como ferramentas, mas como suportes para estilos de vida; o que abre a possibilidade de submeter seu desenvolvimento e as escolhas que o condicionam a controles mais democráticos (DAGNINO; SILVA; PADOVANNI, 2011, p. 121)..

Figura 10, apresentamos algumas medidas que poderiam ser tomadas por um grupo social, no cenário da máquina a vapor, determinando a percepção deste grupo quanto as relações entre CT. A leitura das visões da tecnologia deve ser feita no sentido anti-horário sendo o primeiro quadrante pertencente ao instrumentalismo e o quarto quadrante à AST. As setas indicam as características referentes às visões, anteriormente esclarecidas no Quadro 7: neutralidade da CT, tecnologia autônoma, tecnologia condicionada por valores e tecnologia controlada pelo homem. Assim, para o determinismo, que está no segundo quadrante, a tecnologia é neutra e autônoma. Ainda, em cada quadrante, apresentamos um resumo sobre a visão e o exemplo relativo ao grupo social, considerando o exemplo da tecnologia relacionada à máquina a vapor.

Para o instrumentalismo, então, considerando o valor instrumental da tecnologia, o controle e o funcionamento das máquinas seriam essenciais. Ou seja, deve-se verificar as máquinas em intervalos periódicos a fim de garantir que continuem atendendo ao grupo social. No determinismo o foco poderia estar no desenvolvimento de máquinas mais “eficientes”, pois este crescimento poderia gerar melhoria no modo de produção de uma indústria, por exemplo. Tal melhoria poderia ocasionar o aumento na capacidade de produção desta indústria e, conseqüentemente, o aumento do número de empregos gerando, assim, o progresso do grupo social. Conseguimos observar, nesse exemplo, de maneira mais acentuada a neutralidade da tecnologia, pois esta está isenta de fatores externos, como seu mau uso. No entanto, neste caso, quem garante que haverá aumento do número de empregos e não do número de funções do empregado mantendo-se, ainda, o mesmo salário?

Essa garantia poderia surgir no substantivismo, em que a tecnologia, ainda autônoma, é condicionada por valores e passa a admitir o compromisso com o bem-viver, podendo assumir, por exemplo, o compromisso com os direitos trabalhistas do grupo social. Ainda, assim, não há a garantia de controle do grupo sobre a tecnologia. Temos a classe que domina o mercado como detentora da tecnologia e (por que não?) dos direitos que serão determinados. A participação do grupo social na construção dos direitos trabalhistas poderia ser garantida com a criação de sindicatos constituído por membros deste grupo social, que vai ao encontro da visão da AST. Desse modo o desenvolvimento da tecnologia não estaria centrado apenas na classe detentora do mercado, pois tal crescimento deve estar de acordo com os direitos trabalhistas.

Figura 10: Exemplos de medidas tomadas por um grupo social no cenário da máquina a vapor segundo as visões da tecnologia.



Fonte: Elaboração própria a partir de Dagnino, Brandão e Novaes (2004); Pereira e Lambach (2017).

Apresentamos, a seguir, os pressupostos didático-metodológicos associados ao enfoque CTS.

3.3 PRESSUPOSTOS DIDÁTICO-METODOLÓGICOS

Os pressupostos do enfoque CTS são a contextualização, a interdisciplinaridade e a tomada de decisão. O pressuposto da tomada de decisão encontra-se inserido nas habilidades que se espera para gerar uma Alfabetização Científica, sendo que a “explicitação desta habilidade versa sobre a educação dos cidadãos visando a tomada de decisões políticas e/ou éticas sobre assuntos que envolvem as ciências e suas tecnologias” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 67).

O pressuposto da interdisciplinaridade será brevemente abordado no contexto da discussão sobre temas sociais e a investigação temática. Não aprofundamos a discussão deste aspecto uma vez que ele não foi contemplado explicitamente na SD elaborada.

Como já discutido, para a escolha dos temas é importante observar sua relação com o grupo social envolvido. Isto é, é necessário identificar “temas científicos ou tecnológicos que são potencialmente problemáticos do ponto de vista social” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p.

119). A partir dessa necessidade, pelo menos duas questões se colocam passíveis de serem respondidas:

- Como determinar a relevância de um tema para um determinado grupo social?
- Quem determina tal relevância, o professor ou o próprio grupo social envolvido?

No sentido de buscar possíveis respostas a estas perguntas, vamos retomar um ponto relativo aos temas sociais destacado por Santos e Mortimer (2000) que se refere à necessidade de haver critérios definidos para identificar a relevância social de um tema. Dentre estes critérios, Santos e Mortimer (2000) apontam a necessidade de avaliar “se [o tema] é, de fato, um problema de natureza controvertida, ou seja, se existem opiniões diferentes a seu respeito” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 119). Podemos relacionar a controvérsia com a participação do grupo social, no caso do ambiente escolar composto por estudantes, durante o processo de trabalho com o tema. Recentemente, Archanjo Junior e Gehlen (2020) realizaram um trabalho que se inicia com a identificação de um problema local para um determinado grupo social residente na cidade de Ilhéus, BA. Isto é, se o tema controverso dialoga com o contexto dos estudantes, estes se mostram mais engajados a discutir e analisar as dimensões do problema, o que Auler (2007) justifica tal relação a partir do conceito freiriano da curiosidade epistemológica¹⁴, ou seja,

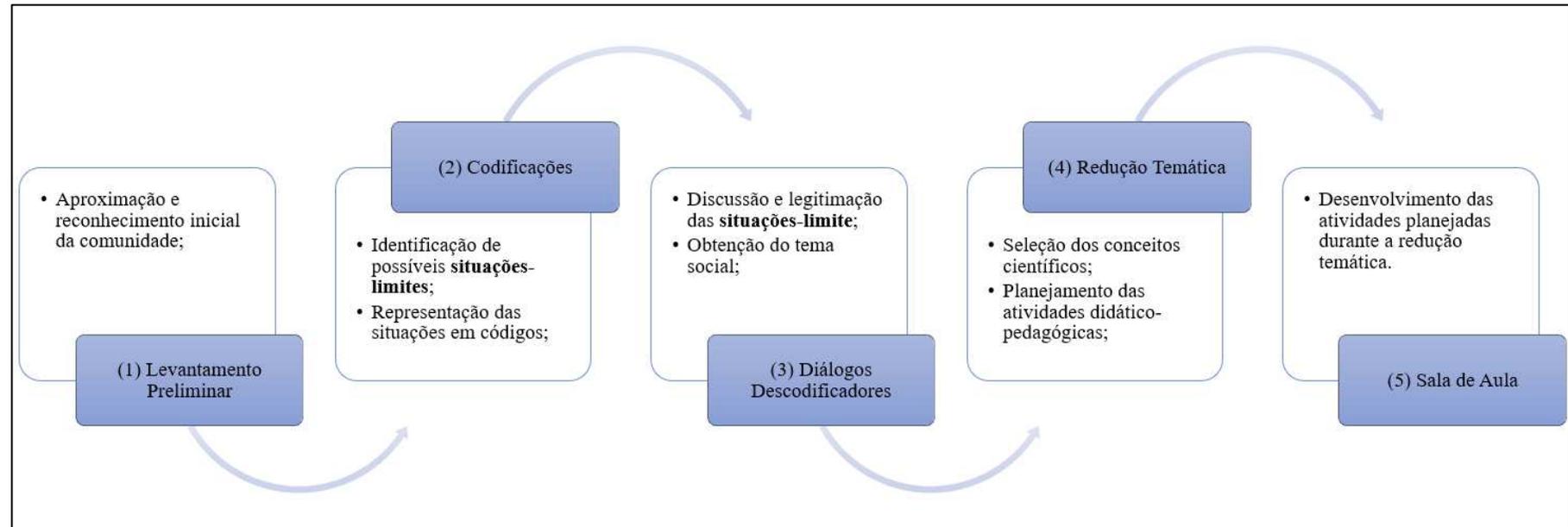
(...) o querer conhecer, a dimensão do desafio gerado, considerando que o mundo do educando e da comunidade escolar são objetos de estudo, de compreensão, de busca, de superação, elementos fundamentais para o engajamento, potencializando a aprendizagem e a constituição de uma cultura de participação (AULER, 2007, p. 5).

Percebemos, então, que a curiosidade epistemológica representa um conceito-chave para a retomada da reflexão proposta acima. Em outras palavras, a contextualização do problema, o qual faz parte do cotidiano dos estudantes fora dos limites da escola e que de alguma forma reverbera na sala de aula e/ou em outros espaços-tempo escolares, pode partir de um processo denominado investigação temática, que é composto por cinco etapas: (1) levantamento preliminar; (2) análise das situações e escolha das codificações; (3) diálogos

¹⁴ “Não há para mim, na diferença e na "distância" entre a ingenuidade e a criticidade, entre o saber de pura experiência feito e o que resulta dos procedimentos metodicamente rigorosos, uma **ruptura**, mas uma **superação**. A superação e não a ruptura se dá na medida em que a curiosidade ingênua, sem deixar de ser curiosidade, pelo contrário, continuando a ser curiosidade, se critica. (...) Na verdade, a curiosidade ingênua que, "desarmada", está associada ao saber do senso comum, é a mesma curiosidade que, criticizando-se, (...) se torna **curiosidade epistemológica**. Muda de qualidade, mas não de essência” (FREIRE, 2018, p. 32-33 – grifos no original).

descodificadores; (4) redução temática; e (5) trabalho em sala de aula. Estas etapas estão resumidas na Figura 11.

Figura 11: Objetivos específicos das etapas da investigação temática.



Fonte: Adaptado de Silva, Gehlen, Mattos (2017).

A primeira etapa, denominada **levantamento preliminar**, representa a caracterização do espaço que compreende a comunidade escolar, ou seja, “faz-se um levantamento das condições da localidade onde, através de fontes secundárias e conversas informais com os indivíduos, realiza-se a “primeira aproximação” e uma recolha de dados” (AULER, 2007, p. 4). A segunda etapa, **análise das situações e escolha das codificações**, diz respeito as contraposições de situações presenciadas pela comunidade percebidas a partir do levantamento realizado na primeira etapa. A partir das “situações que encerram as contradições vividas” (AULER, 2007, p. 4), os investigadores constroem ferramentas para a obtenção dos temas sociais. Dito de outra forma, essas ferramentas representam as “codificações que serão apresentadas na etapa seguinte” (AULER, 2007, p. 4).

Munidos de tais ferramentas, os investigadores desenvolvem na terceira etapa os **diálogos descodificadores**. Essas ferramentas podem ser entrevistas guiadas a partir de perguntas pré-estabelecidas de modo a orientar a obtenção do tema social, o qual representará a problemática escolhida. A partir da escolha do tema parte-se para a elaboração do plano de trabalho, etapa da **redução temática**, na qual “identifica-se e seleciona-se conteúdos disciplinares, conhecimentos necessários para a compreensão dos temas identificados na etapa anterior” (AULER, 2007, p. 4). Ou seja, nessa etapa tem-se delineado como abordar as inter-relações C-T-S a partir das questões de natureza da ciência, da tecnologia e da sociedade para, posteriormente, a sequência de atividades ser levada para o **trabalho em sala de aula**.

As etapas quatro e cinco podem ser construídas a partir do processo da investigação temática, como já exposto; no entanto, Santos e Mortimer (2000) apresentam a inclusão de temas globais, os quais, como outra ferramenta, também podem auxiliar a elaboração do plano de trabalho em sala de aula. Segundo estes autores, os temas globais “são caracterizados por afetar a vida das pessoas em várias partes do mundo e por não serem passíveis de compreensão ou tratamento adequado somente em contextos local ou nacional” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 119). Como exemplos de temas globais temos: “(1) temas ambientais; (2) saúde e população; (3) questões econômicas; (4) transporte e comunicação; (5) alimentos e fome; (6) energia e (7) questões militares” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 119). Entendemos que essa lista de temas globais pode ser ampliada acrescentando, por exemplo, (8) redes sociais; (9) sociedade do controle: internet 5.0; (10) profissões do futuro; etc.

A etapa quatro da investigação temática aponta para a interdisciplinaridade, onde, segundo Auler (2007), os temas “direcionam a seleção de conteúdos disciplinares, para o estudo, para a compreensão e enfrentamento dos problemas e dilemas vividos pela comunidade mais ampla” (AULER, 2007, p. 6). Dessa maneira, a interdisciplinaridade apresenta o olhar das

diferentes dimensões do problema através da contribuição dos diversos componentes curriculares presentes nas escolas uma vez que ao tratarmos de tais dimensões passamos por discussões sociológicas, políticas, tecnológicas, entre outras, como mostradas nos exemplos da máquina a vapor.

Retomando as visões da tecnologia, apresentamos alguns exemplos relativos ao substantivismo e à AST que levantam questões sociológicas relativas as relações CT discutidas no contexto da máquina a vapor. Pensando na elaboração do trabalho em sala de aula pode-se fazer um encaminhamento com a Sociologia, a História e a Geografia discutindo por exemplo a questão dos direitos trabalhistas naquele momento histórico e atualmente. Ou seja, a interdisciplinaridade aparece nas questões relativas à natureza da ciência e da tecnologia de modo a direcionar a discussão que abrange as relações CT, buscando-se alcançar os objetivos traçados pelo professor na etapa quatro da investigação temática.

Auler (2007) ainda chama a atenção para a consequência que pode gerar a análise dos temas sociais apenas pela perspectiva das ciências naturais:

Os alunos, analisando temas sociais marcados pela dimensão científico-tecnológica, unicamente a partir do ângulo das ciências naturais, poderão construir a compreensão de que tal campo é suficiente para compreender e buscar soluções para os problemas sociais (AULER, 2007, p. 7).

Ou seja, abordar problemas sociais exclusivamente por meio de argumentos das esferas CT pode contribuir por reforçar a crença no MTLP, o qual, por sua vez, está diretamente ligado às visões instrumentalista e determinista de CT. Portanto, a escolha dos temas sociais juntamente com a escolha dos recursos didático-metodológicos de maneira a evidenciar as questões de naturezas científica, tecnológica e social vai de encontro ao currículo linear organizado apenas pelos conteúdos, apresentando-se em concordância com o enfoque CTS.

Como orientado por Auler (2007), “metodologicamente parte-se de um problema aberto, passando pela busca de conhecimentos sobre as várias dimensões deste, culminando com uma tomada de decisão” (AULER, 2007, p. 3). Assim, a tomada de decisão parte da controvérsia existente na problemática representada pelo tema social. Ao final do processo CTS, “a controvérsia será resolvida com a tomada de decisão para o problema” (AULER, 2007, p. 3). Desse modo, retomando as etapas quatro e cinco da investigação temática (a redução temática e o trabalho em sala de aula), a escolha das ferramentas e recursos que serão utilizados na construção do plano de trabalho em sala de aula necessitam estar condizentes com a concepção CTS. Para ilustrar tal afirmação, Santos e Mortimer (2000) recomendam “o estudo de caso envolvendo problemas reais da sociedade (...), uso de fatos da história da ciência e

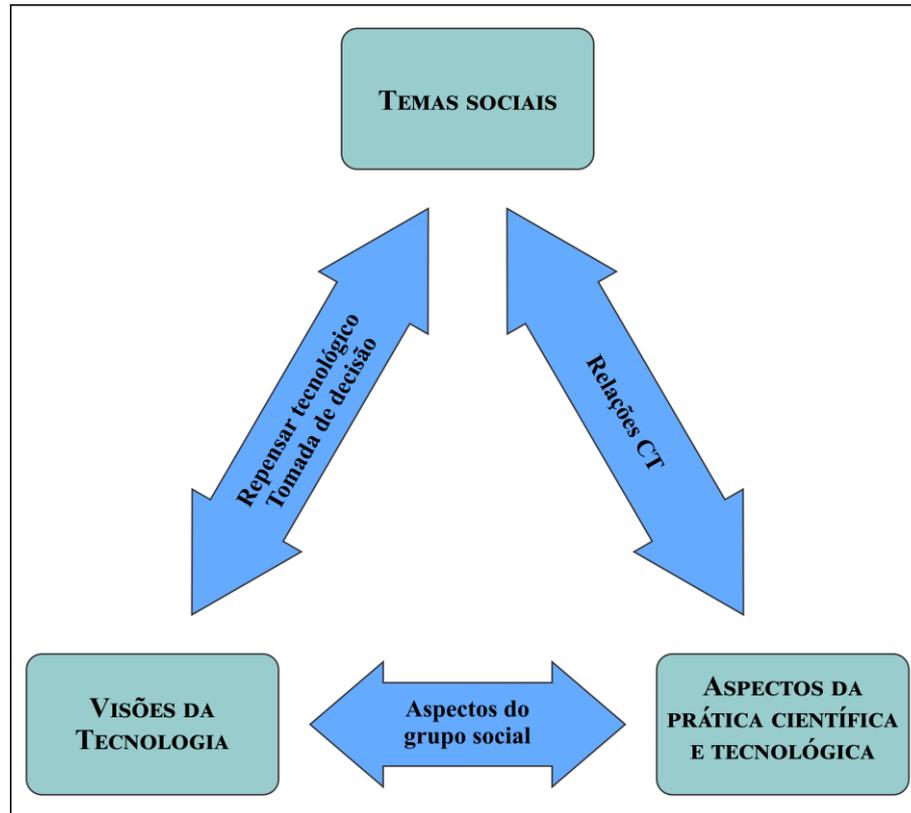
discussão em grupo sobre vídeos envolvendo questões científicas e tecnológicas” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 122), entre outras. Também destacam que “essas sugestões metodológicas contribuem para que os alunos desenvolvam habilidades e atitudes necessárias à tomada de decisão” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 122).

Percebemos, então, que o processo como um todo deve ser pensado e estruturado com cuidado para criar a possibilidade de desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão. Nesse ponto se faz importante retomar às relações CT. Como aponta Roso (2012), o movimento CTS

passou a postular o controle social sobre CT, de forma que configurou em um dos objetivos centrais para que CTS colocasse/deixasse os processos de tomada de decisões em temas relativos à CT na mão da sociedade, em detrimento ao modelo de decisões puramente técnico (ROSO, 2012, p. 10).

Analogamente ao processo de investigação temática, propomos na Figura 12 as etapas que podem conduzir à tomada de decisão em concordância à defesa do referencial CTS pela “ampla participação [da sociedade] em processos de tomada de decisões em temas relativos à CT” (ROSO, 2012, p. 3) e em “favor de um sistema democrático de tomada de decisões envolvendo temas relativos à CT” (ROSO, 2012, p. 9). As etapas do processo são constituídas: (i) pelo trabalho das relações CT; (ii) pela caracterização do grupo social a partir das relações CT; e (iii) pelo repensar tecnológico a partir da caracterização do grupo social. A Figura 12 representa uma síntese do que já foi discutido a partir das visões da tecnologia repensadas, agora, dentro dos pressupostos CTS em busca da tomada de decisão, sendo apresentada em sequência.

Figura 12: Etapas do processo de tomada de decisões em temas relativos à CT.



Fonte: Elaboração própria.

O trabalho das relações CT é desenvolvido a partir da escolha do tema de relevância social a partir dos aspectos das práticas tecnológica e científica (SANTOS; MORTIMER, 2000). Nessa etapa do processo, o encaminhamento interdisciplinar pode alinhar o encaminhamento das discussões a partir dos objetivos estabelecidos pelo professor. Ou seja, pode-se, por exemplo, partir dos aspectos e questões sociológicas para se discutir as relações CT buscando-se um encaminhamento junto com as componentes curriculares de sociologia e filosofia.

A partir das relações CT, busca-se a caracterização do grupo social a partir das visões da tecnologia. Tal caracterização poderá oferecer condições para o próprio grupo social repensar a tecnologia envolvida na discussão do problema proposto, caracterizando o processo de tomada de decisão. Nesse sentido, as visões da tecnologia podem representar um caminho para desenvolver a capacidade de tomada de decisão.

Ao pensarmos sobre a ciência dentro do enfoque CTS, podemos identificar três propostas curriculares que envolvam os conteúdos CTS: (i) a que apresenta ênfase no conteúdo científico; (ii) a que trata do conteúdo científico onde a integração entre as práticas CT e a sociedade são vistas como aplicações deste conteúdo; e (iii) a que apresenta a ciência dentro

das relações Sociedade e Tecnologia (ST) e CT. Santos e Mortimer (2000) apresentam oito categorias de ensino CTS, que em nossa percepção se enquadram nessas três frentes curriculares: as categorias 1 e 2 estão na primeira frente curricular, a categoria 3 na segunda e as categorias 4 a 8 na terceira frente curricular, como mostrado no Quadro 8.

A primeira frente curricular se apresenta como o currículo de ciências pautado no entendimento e resolução de equações, onde o conteúdo CTS é inserido através de um texto ou reportagem ou vídeo mostrando uma aplicação do conteúdo científico estudado. Isto é essencialmente o que Santos e Mortimer (2000) denominam de “dourar a pílula”, ou seja, os professores que adotam este tipo de currículo apresentam algumas situações que envolvem as relações CTS como uma possível aplicação dos conceitos científicos apresentados (SANTOS e MORTIMER, 2000). Desse modo, em concordância com a primeira frente curricular, para os currículos tradicionais temos o tema em função do conteúdo. Dessa forma, “o tema comparece para dinamizar, motivar o desenvolvimento de currículos, muitas vezes estruturados de forma linear e fragmentada em contextos externos à escola” (AULER, 2007, p. 5-6).

Para a segunda frente curricular, “o conteúdo de ciências é abordado no contexto do seu meio tecnológico e social, no qual os estudantes integram o conhecimento científico com a tecnologia e o mundo social de suas experiências do dia-a-dia” (SANTOS, 2008, p. 112). Ou seja, as soluções de problemas relativos à CT e ao entendimento da tecnologia se constituem a partir do estudo dos conteúdos científicos levando-se em conta suas relações com a aplicabilidade de CT.

A terceira frente curricular organiza o conteúdo CTS a partir de temas sociais e os aspectos da prática tecnológica relacionados a estes, como descrito por Santos e Mortimer na categoria oito de ensino de CTS. Para tal currículo CTS, buscando-se a relação entre o tema e o conteúdo disciplinar, Auler (2007) afirma que

(...) no processo de configuração curricular, definido o tema, surge a pergunta: que conteúdos disciplinares, que conhecimentos são necessários para a compreensão do tema? Não há um currículo definido **a priori** em instâncias externas à comunidade escolar (AULER, 2007, p. 5 – grifos no original).

Em suma, a classificação curricular proposta por Santos e Mortimer (2000)

leva em conta a ênfase que atribui às inter-relações CTS, sendo que na primeira [categoria] estariam os materiais em que CTS é apresentado com caráter motivador e eventual, enquanto que na última [categoria] os materiais são caracterizados por estudos das inter-relações CTS em uma perspectiva sociológica, de forma que o conteúdo científico propriamente dito é apresentado de maneira complementar (SANTOS, 2011, p. 29).

Quadro 8: Propostas curriculares e categorias de ensino CTS.

Propostas curriculares	Categorias de ensino CTS	Características
(i) ênfase no conteúdo científico	1. Conteúdo de CTS como elemento de motivação.	Ensino tradicional de ciências acrescido da menção ao conteúdo de CTS com a função de tornar as aulas mais interessantes.
	2. Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de pequenos estudos de conteúdo de CTS incorporados como apêndices aos tópicos de ciências. O conteúdo de CTS não é resultado do uso de temas unificadores.
(ii) práticas CT como aplicações do conteúdo científico	3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrados aos tópicos de ciências, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS. Esses conteúdos formam temas unificadores.
(iii) ênfase no conteúdo CTS	4. Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo de CTS.	Os temas de CTS são utilizados para organizar os conteúdos de ciências e a sua sequência, mas a seleção do conteúdo de ciências e a sua sequência, mas a seleção do conteúdo científico ainda é a feita a partir de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros é muito semelhante àquela da categoria 3, embora a sequência possa ser bem diferente.
	5. Ciências por meio do conteúdo de CTS.	CTS organiza o conteúdo e sua sequência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo de CTS. A lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes a partir de uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.
	6. Ciências com conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem.
	7. Incorporação das Ciências ao conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do currículo. O conteúdo relevante de ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da ciência.
	8. Conteúdo de CTS.	Estudo de uma questão tecnológica ou social importante. O conteúdo de ciências é mencionado somente para indicar uma vinculação com as ciências.

Fonte: Adaptado de Aikenhead (1994) e Santos e Mortimer (2000).

Recentemente, Strieder (2012) e Strieder e Kawamura (2017), apresentam o que entendemos ser uma possível expansão dessas propostas curriculares apontadas por Santos e Mortimer (2000), por meio de uma matriz de parâmetros e propósitos da educação CTS no contexto educacional brasileiro Quadro 9.

Quadro 9: Relação entre parâmetros e propósitos da educação CTS.

Propósitos educacionais ↓	Parâmetros CTS ↓		
	Racionalidade científica	Desenvolvimento tecnológico	Participação social
Desenvolvimento de percepções	(1R) Presença na sociedade	(1D) Questões técnicas	(1P) Informações
Desenvolvimento de questionamentos	(2R) Benefícios e malefícios (3R) Condução das investigações (4R) Investigações e seus produtos	(2D) Organização e relações (3D) Especificações e transformações (4D) Propósitos das produções	(2P) Decisões individuais (3P) Decisões coletivas (4P) Mecanismos de pressão
Desenvolvimento de compromissos sociais	(5R) Insuficiências	(5D) Adequações sociais	(5P) Esferas políticas

Fonte: Adaptado de Strieder e Kawamura (2017).

No entanto, como destacado pelas autoras,

(...) não se trata de um instrumento para encaminhar as melhores práticas ou os melhores materiais CTS, uma vez que esses correspondem necessariamente a uma diversidade de contextos e objetivos. Espera-se, ao contrário, que possa ser um instrumento relevante para refletir sobre essas práticas e suas articulações com os discursos, aspecto a ser aprofundado em investigações futuras (STRIEDER; KAWAMURA, p. 51, 2017).

Para a organização do currículo CTS, podemos utilizar os três momentos pedagógicos (3MP) que são estruturados a partir da temática para se trabalhar as relações CTS e buscar uma ressignificação desta. Segundo Schneider *et al.* (2018), os três momentos pedagógicos (3MP) podem ser utilizados tanto “como ferramenta metodológica” quanto “como estruturantes de currículos” (SCHNEIDER *et al.*, 2018, p. 152).

Os 3MP são constituídos por três etapas: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento. A **problematização inicial** “é o momento inicial onde o professor apresenta situações reais que os alunos conheçam e vivenciam em que são introduzidos os conhecimentos científicos” (GIACOMINI; MUENCHEN, 2015, p. 343), de modo que o problema não é apresentado de maneira fechada, pelo contrário, é um problema em aberto onde deve ser explorado os diversos aspectos deste a partir das relações CTS desenvolvidas na organização do conhecimento.

A **organização do conhecimento** “é o momento em que os alunos estudarão os conhecimentos selecionados pelo professor como necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial” (GIACOMINI; MUENCHEN, 2015, p. 344) sendo auxiliado pelo processo da redução temática onde se delimita as ferramentas e recursos que são utilizados para trabalhar as relações CTS. Schneider *et al.* (2018) ainda destacam nesse processo a importância da prática sistemática do diálogo, ou seja, o desenvolvimento da “reflexão e o constante diálogo entre os sujeitos envolvidos” (SCHNEIDER *et al.*, 2018, p. 167) para, então, posteriormente, na etapa da aplicação do conhecimento, buscar a ressignificação da problematização inicial a partir das relações CTS.

A **aplicação do conhecimento** “é o momento em que é abordado sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno em que são analisadas e interpretadas as situações que determinaram seu estudo” (GIACOMINI; MUENCHEN, 2015, p. 344). Portanto, “é neste momento que os alunos são capacitados para empregar seus conhecimentos, e em que eles poderão articular a conceituação científica com situações reais” (GIACOMINI; MUENCHEN, 2015, p. 344), sugerindo, neste caso, um processo de tomada de decisão. Dentro da proposta que apresentamos na Figura 12 acima, a **problematização inicial** é representada pelas relações CT; a **organização do conhecimento**, pelos aspectos do grupo social e o desenvolvimento do conteúdo científico; e a **aplicação do conhecimento** pelo repensar tecnológico. Para cada etapa houve a seleção de recursos didático-metodológicos de acordo com o objetivo traçado em cada parte do processo.

4. PRODUTO EDUCACIONAL

A partir de um levantamento realizado no portal eletrônico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foram selecionadas 7 dissertações do programa de Mestrado Nacional em Ensino de Física (MNEF). Esta seleção ocorreu a partir da busca com os termos CTS e suas variações e neste *corpus*, posteriormente, com o termo EI. Com o *corpus* de trabalho definido, foi desenvolvido o estado da arte (EA) (VOSGERAU; ROMANOWSKI, 2014) visando compreender como os referenciais teóricos foram apropriados nos produtos educacionais (OLIVEIRA; SILVA; GUMIERI, 2021; GUMIERI; OLIVEIRA, 2020).

4.1 ESTADO DA ARTE

Na discussão teórica, dois aportes foram comuns nas dissertações: os trabalhos de Santos e Mortimer (2000) e Aikenhead (1996). Quanto à organização das SD, de modo geral, foi apresentada a estrutura de uma sequência de ensino CTS (SE-CTS),

(...) a estrutura dos materiais de ensino de CTS é sequenciada pelos passos: (1) introdução de um problema social; (2) análise da tecnologia relacionada ao tema social; (3) estudo do conteúdo científico definido em função do tema social da tecnologia introduzida; (4) estudo da tecnologia correlatada em função do conteúdo apresentado e (5) discussão da questão social original (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 121-122).

Como destacado por Santos e Mortimer (2000), observamos que a SE-CTS é uma sequência em espiral, onde o tema social é constantemente retomado e estudado em diferentes perspectivas até ser esgotado para que, em seguida, os estudantes realizem uma série de atividades relacionadas à tomada de decisão. Em geral, as dissertações perceberam essa relação e abordaram a dependência entre as esferas C-T-S sinalizando para o processo de tomada de decisão. No entanto, essas relações giram em torno do conteúdo científico e suas aplicações de cunho técnico delimitando o reforço ao MTLP (AULER, 2007).

Dentro da perspectiva didático metodológica do EI, o trabalho de Azevedo (2004) se destaca nas dissertações analisadas, o qual discute a organização geral do processo – situação-problema, procedimentos e conclusões – e os papéis do professor e do estudante em diferentes níveis. Na leitura das dissertações percebemos uma discussão acerca da escolha da situação problema destacando-a como fio condutor para a continuidade do processo respeitando-se o

papel do professor/estudante ao longo deste. A seguir, apresentamos uma breve discussão sobre os trabalhos que compõem o *corpus* em pauta.

Rodrigues (2014) organizou a SD em 4 atividades que partiram da problematização de escassez de energia elétrica na Ilha de Canárias, Maranhão. A problematização teve como tecnologia associada o moto-perpétuo e o conteúdo científico trabalhado foi a Segunda Lei da Termodinâmica. Para a atividade 1, denominada moto-perpétuo, Rodrigues (2014) partiu de uma reportagem adaptada do jornal “O Estado de São Paulo”, a qual trouxe a problematização resumida no Quadro 10.

Quadro 10: Visão geral da atividade 1.

Escassez de energia		
Questão aberta		Construção do moto-perpétuo.
Se você fosse morador da ilha, incentivaria o projeto com ajuda financeira?	Caso o objetivo da máquina fosse apenas manter a roda em movimento e não fornecer energia elétrica às residências, poderia funcionar? Por quê?	Viável ou não?

Fonte: Elaboração própria.

A discussão de toda a atividade foi centrada em duas questões, em que “A primeira é um chamado a uma tomada de posição de cunho socio-científico e a segunda é um questionamento voltado ao aspecto mais puramente científico que serve para trazer à tona a discussão da degradação da energia.”(RODRIGUES, 2014, p. 57). Ele ainda apresentou uma visão completa sobre a atividade destacando que o processo de análise do tema parte de “uma solução de cunho tecnológico”(RODRIGUES, 2014, p. 58).

Percebemos, a partir dessa escolha, que o autor se preocupou em conduzir a atividade focando no funcionamento da máquina e a tomada de decisão foi proposta aos estudantes no começo do processo. Esta organização pode contribuir para esse processo se tornar vazio, vago, pois remete unicamente à construção da máquina. A tomada de decisão foi levantada no começo do processo restrita à etapa da problematização, não sendo retomada ao final da SD. Além disso, como veremos mais adiante, a sequência em espiral foi centrada na tecnologia e não no tema social, reforçando o MTLP.

A partir desse momento, foram realizadas atividades relacionadas aos conceitos científicos referentes ao funcionamento da tecnologia. A atividade 2 abordou o conceito de degradação de energia e consistiu na exibição de vídeos amadores, assim descritos pelo autor, onde os estudantes analisaram diferentes processos na ordem direta e inversa, editada, como o processo de fritura de um ovo. A atividade 3 trouxe o conceito de entropia, porém não houve uma relação/construção da Segunda Lei da Termodinâmica a partir daí. O objetivo da atividade 3 foi “criar associação entre a irreversibilidade observada em fenômenos macroscópicos e a

multiplicidade de estados, o que permite ao professor formalizar o conceito de entropia, numa formulação inspirada pela Mecânica Estatística." (RODRIGUES, 2014, p. 64).

Rodrigues (2014) classificou a atividade 3 como laboratório aberto, a partir de (AZEVEDO, 2004), ou seja, esta foi uma atividade dentro da perspectiva do EI; e apresentou a pergunta investigativa a ser entregue em material impresso aos estudantes:

Se todas as bolinhas são colocadas do mesmo lado da caixa e ela é agitada:
 a. Em qual lado da caixa você esperaria encontrar uma bolinha em particular após algum tempo? Do mesmo lado ou do outro lado? Por que?
 b. Como você esperaria encontrar a distribuição do número de bolinhas entre os dois lados da caixa após algum tempo? Por que?
 c. Você esperaria encontrar todas as bolinhas do mesmo lado da caixa uma segunda vez? Por que? (...)
 (RODRIGUES, 2014, p. 66-67 – grifo nosso).

Observamos que a pergunta fornece a instrução de como proceder acrescida de outras perguntas com o intuito de promover algumas reflexões, como “despertar uma discussão que pode levar à conclusão de que há um macroestado mais provável que qualquer outro” (RODRIGUES, 2014, p. 68). Dito de outra forma, temos uma atividade que pode ser classificada nos níveis 0 ou 1 de investigação, Quadro 11. No entanto, Rodrigues (2014) a classifica no nível 2 de investigação.

Quadro 11: Níveis de investigação.

Nível	Problemas	Procedimentos	Conclusões
0	Dados	Dados	Dados
1	Dados	Dados	Em aberto
2	Dados	Em aberto	Em aberto
3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Fonte: Rodrigues (2014, p. 27).

A atividade 4, denominada máquinas térmicas, partiu de um texto construído com recortes da obra “Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas próprias a desenvolver essa potência” de Carnot do ano de 1824. O texto está ambientado no cenário da Revolução Industrial e traz a discussão do funcionamento de uma máquina térmica a partir do calórico. Percebemos, pela discussão da SD até o momento, que o texto foi escolhido pela explicação que apresenta da máquina relacionando ao que já foi trabalhado de degradação de energia e confirmando a tomada de decisão da atividade 1 como não viável a construção do moto-perpétuo. Ou seja, apesar de o texto escolhido abordar questões referentes à natureza da ciência, inclusive dentro dos APT, Rodrigues (2014) faz a opção por destacar e discutir apenas a tecnicidade da ciência.

Desse modo, o texto abordado na atividade 4 apresenta a possibilidade de discussão da natureza do calor. Pensando em uma sequência para trabalhar termodinâmica, no geral, esse

texto poderia, num primeiro momento, ser usado para introduzir essa discussão. Posteriormente, em outro momento, o mesmo texto permitiria apresentar uma problematização referente às máquinas térmicas, criando assim uma oportunidade para se trabalhar a Primeira e/ou a Segunda Lei da Termodinâmica. Para a Segunda Lei da Termodinâmica o desafio em elaborar uma situação problema para enunciá-la a partir do conceito de entropia (atividade 3) nos faz refletir que, considerando a problemática das máquinas térmicas, o transporte público seria uma possibilidade de discussão.

Por sua vez, Almeida (2016) trouxe a abordagem CTS, utilizado CTSA pela autora, de forma isolada, no sentido de utilização de textos complementares que traziam aplicações do conteúdo trabalhado.

(...) são inseridos conteúdos de CTSA dentro dos conteúdos específicos abordados em cada SEI e tratando-os fazendo uso dos conceitos estudados no momento. Por exemplo, a questão da evaporação de açudes é tratada na SEI No. 01 enfatizando especialmente o potencial natural de evaporação na região Nordeste do Brasil, devido sua localização geográfica (ALMEIDA, 2016, p. 61).

Almeida (2016) não organizou o conteúdo científico a partir de um tema central; ao contrário, foi o conteúdo científico que balizou a organização da sequência de textos que foram efetivamente utilizados. Além disso, ao dar o ponto de partida para a inserção do EI, a autora parte de testes de sondagem. Ao utilizar a experimentação foi observado um passo a passo que foi seguido pelos estudantes.

(...) as concepções espontâneas dos alunos foram diagnosticadas nesta etapa mediante a aplicação de um teste de sondagem, em forma de questionário, que permitiu aos alunos relatarem seus conhecimentos de mundo sem que suas respostas fossem influenciadas/direcionadas pelas próprias questões (:p.70).

(...) coloquemos uma mão num vaso A (com água quente) e a outra mão num vaso B (com água gelada). Em seguida coloquemos as duas mãos num terceiro vaso C (com água a temperatura ambiente). Como avaliaremos a temperatura deste terceiro vaso (ALMEIDA, 2016, p. 73-74).

A apresentação das SEI por Almeida (2016) no corpo da dissertação foi sucinta, assim como no Produto Educacional. A última atividade proposta pela autora faz referência ao Aquecimento Global. Parece que sua intenção foi condensar tudo em uma temática final. Talvez se ela tivesse partido da problemática "A temperatura do planeta está aumentando?" e desenvolvesse todo o conteúdo a partir daí com problemas intermediários ao longo do processo, poderia levar a uma de tomada de decisão ao final.

O trabalho de Cunha (2018) abordou, como conteúdo científico, o Efeito Meissner a partir de uma discussão acerca das Leis de Ampère, Faraday e Lenz. Para tanto apresentou uma problematização em torno da tecnologia envolvida no trem MAGLEV¹⁵. O problema inicial tratou dos veículos automotores e a emissão de gases poluentes por estes.

Cunha (2018) organizou a sequência em 3 etapas. A primeira foi justamente a colocação do problema inicial onde foram trabalhados 3 textos. O primeiro foi um trecho de um documento do Ministério do Meio Ambiente que tratou da emissão de gases poluentes por veículos automotores. Em seguida, foi apresentada uma reportagem sobre os servidores do estado do RJ que ficaram um dia sem carro. Por fim, como alternativa para o meio de transporte, Cunha (2018) apresentou o trem supercondutor e ainda descreveu essa atividade separando os veículos em sustentáveis e não sustentáveis, mas não apresentou indícios de discussão acerca do tema sustentabilidade. Ainda, não deixou claro o que entende por sustentabilidade e como ela está presente nas discussões.

Observamos, pelo modo como foi colocada a problematização e a escolha dos textos pelo professor, que a organização do pensamento do estudante pode ser direcionada. Isso se dá porque são mostrados a desvantagem dos veículos automotores, uma tomada de consciência individual de um único dia e uma alternativa para a possível solução tecnológica para o problema. Novamente, percebemos o MTLP (AULER, 2007): percepção de um problema – desenvolvimento da CT trazendo uma alternativa melhor e mais eficiente para a solução do problema – ocasionando o então esperado desenvolvimento social.

Cunha (2018) propôs, ainda na primeira etapa, o processo de tomada de decisão através de um debate em que os estudantes iriam defender o transporte convencional, defender o trem supercondutor e julgar. De forma semelhante ao discutido sobre o trabalho de Rodrigues (2014), uma tomada de decisão no início do processo da SD. Novamente temos uma SD em espiral, porém em torno da tecnologia e não do tema social.

Para as etapas 2 e 3, Cunha (2018) trouxe os conteúdos científicos envolvidos na tecnologia do trem supercondutor. Partiu, então, na segunda etapa, de um vídeo que abordou o trem supercondutor, denominando esta etapa de Tecnologia envolvida no MAGLEV.

A etapa 3 foi uma sequência de atividades experimentais. A primeira atividade experimental foi utilizada para enunciar a Lei de Ampère e não possuiu caráter investigativo.

¹⁵ O trem MAGLEV (*Magnetic levitation transport*) é um veículo de transporte que utiliza propriedades eletromagnéticas para levantar sobre os trilhos, conseguindo dessa forma eliminar o atrito entre as rodas e os trilhos. Sobre o tema ver, por exemplo, <https://www.electricalibrary.com/2021/01/29/maglev-como-funciona/>. Acesso em 15 jun. 2022.

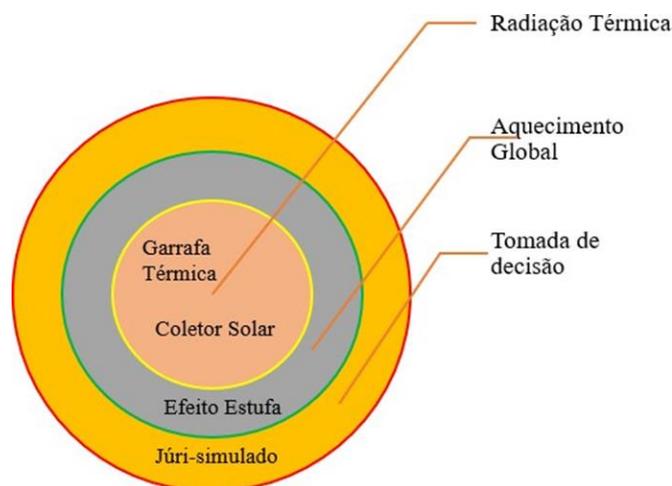
A atividade experimental referente ao conteúdo das Leis de Faraday e Lenz partiu da seguinte pergunta: "É possível ter corrente elétrica em um fio condutor sem usar uma fonte de tensão convencional? Como?" (CUNHA, 2018, p. 84). Porém, o autor não deixou claro se o aparato experimental foi distribuído aos grupos já montado ou se os estudantes realizaram a montagem em sala de aula. Durante a condução do processo, ele fez uso de perguntas que influenciaram no procedimento e manipulação do experimento por parte dos estudantes como, por exemplo, "Se aproximar e afastar esses ímãs do centro de uma das bobinas ocorrerá alguma coisa?" (CUNHA, 2018, p. 64), o que pode reduzir o processo de investigação por parte dos estudantes.

A última atividade foi relacionada ao Efeito Meissner onde o experimento foi gravado em um laboratório "com a colaboração do LADIF (Laboratório Didático do Instituto de Física) e do LBT (Laboratório de Baixas Temperaturas) na UFRJ" (CUNHA, 2018, p. 65). Durante a exibição do vídeo, o autor fez pausas usando perguntas para incitar discussões entre os estudantes e relacionar com os conteúdos já trabalhados para, no final, concluir com a enunciação do Efeito Meissner. Ou seja, conduziu a atividade promovendo um diálogo constante com os estudantes relacionando discussões que foram feitas anteriormente no desenvolver da SD.

Já o trabalho de Rubino (2010) tem uma SD organizada em 6 unidades. Como representado na

Figura 13, ele partiu do tema Aquecimento Global abordando o Efeito Estufa. O conteúdo trabalhado foi o de Radiação Térmica trazendo como tecnologia a Garrafa Térmica e o Coletor Solar. Para o autor, a tecnologia não foi associada ao tema, mas trazida como exemplificação do conteúdo que foi trabalhado.

Figura 13: Visão geral da SD.



Fonte: Elaboração própria.

Neste trabalho, percebemos uma centralização no conhecimento científico ao longo da SD e a tomada de decisão no final do processo. Parece que a compreensão da ciência determinou a possível solução de um problema que afeta todo o planeta. Rubino (2010) expõe uma separação entre enfoque CTS e o aprender ciência.

Todo o nosso trabalho foi desenvolvido com base no enfoque CTS, mas, no entanto, a aprendizagem do conteúdo de Física tem tanta importância quanto a aprendizagem CTS. Entendemos que a abordagem de problemas de nossa sociedade é de grande relevância para a formação dos estudantes, contudo, sem deixar de lado os conceitos físicos envolvidos na explicação do fenômeno, uma vez que somos professores de Física (RUBINO, 2010, p. 21).

O autor apresentou o tema na unidade 1 onde utilizou textos que destacaram a magnitude social e econômica do problema. Porém, as demais unidades (2, 3, 4 e 5) foram destinadas apenas à discussão de cunho científico. Entendemos que a perspectiva do EI se fez presente na unidade 3 ao longo da discussão acerca do funcionamento de uma garrafa térmica, como explicado por ele: "o professor deve utilizar uma garrafa térmica e propor um desafio aos estudantes baseado no seguinte problema: Explique o funcionamento da garrafa térmica." (RUBINO, 2010, p. 52). Contudo, inferimos ser uma atividade experimental não utilizou de recursos na etapa de resolução de problema, tais como, textos, experimentos, simuladores etc.

A atividade experimental da unidade 4 foi a construção de um coletor solar: "os alunos irão construir um coletor solar, fazer a coleta dos dados para responder a um questionário e preparar um relatório." (RUBINO, 2010, p. 54). Percebemos, aqui, uma atividade experimental roteirizada. Já a unidade 5 retomou o fenômeno do Efeito Estufa e na unidade 6 foi realizado um júri-simulado acerca das emissões de gases poluentes pelos países industrializados. Infelizmente, Rubino (2010) não apresentou uma análise sobre o júri-simulado destacando que "o material não foi aplicado integralmente uma vez que ainda estava em processo de confecção." (RUBINO, 2010, p. 91).

Pedroso (2017) focou toda a sequência no desenvolvimento da equação $E = mc^2$. Para isso, partiu da problematização "E se uma bomba atômica caísse na cidade de São Paulo?" (PEDROSO, 2017, p. 44). Esquematizamos no Quadro 12, as etapas do EI relativas às etapas da SD. Em sequência, apresentamos a descrição desses momentos.

Quadro 12: Organização da SD.

Momento	Etapa da SD	Etapa do EI
1	Questão social introdutória	Problema inicial
2	Uma tecnologia relacionada ao tema é Analisada	Distribuição de materiais
3	O conteúdo científico é trabalhado	Resolução do problema pelos alunos
4	A tecnologia é estudada em função dos Conteúdos	Sistematização
5	Retomada da questão social	Escrever e desenhar

Fonte: Elaboração própria.

No primeiro momento, foram utilizados vídeos para fomentar a discussão em torno da problematização. Um vídeo trazia a problematização e o outro tratava dos desastres de Chernobyl e Fukushima. Inferimos que ocorreu uma condução da atividade para a discussão da tecnologia e seu funcionamento, sendo apresentado pelo autor uma certa frustração com o interesse dos estudantes com a discussão relativa ao âmbito social e político: “Os estudantes pareciam estar mais interessados em discutir os efeitos da bomba e não o conhecimento científico que possibilitou a sua construção” (PEDROSO, 2017, p. 55). Desse modo, o autor busca a apresentação de uma ciência que pode ser compreendida como neutra, se apresentando em prol do desenvolvimento tecnológico que pode ser usado para solucionar problemas sociais. No segundo momento, ele também utilizou vídeos para a discussão do funcionamento de uma bomba atômica e de uma usina nuclear.

O terceiro momento contou com o estudo e a discussão de dois textos relacionados à Einstein e à construção da bomba atômica. Foi utilizado um questionário do qual uma pergunta nos chamou atenção: "Discuta e elabore um pequeno texto mostrando o que teve de bom e de ruim nos estudos que levaram à construção da bomba atômica." (PEDROSO, 2017, p. 127). Na descrição da atividade realizada, ele afirmou que "os alunos perceberam que o desenvolvimento científico não é o causador desses desastres, mas sim o uso que se faz dele." (PEDROSO, 2017, p. 72). Isso corrobora com sua condução da problematização e compreendemos que o trabalho apresenta a tecnologia e a ciência dentro da visão do instrumentalismo. Isto é, uma vez que o desenvolvimento científico e tecnológico não é em si bom ou mau e, portanto, é neutro, cabe à ética de quem fará uso destes conhecimentos em CT se eles serão usados em benefício da sociedade como um todo ou não.

No quarto momento, o autor formaliza a equação $E = mc^2$ utilizando textos científicos e um simulador para a discussão do alcance de uma bomba atômica, além de um questionário voltado para a interpretação física da equação. Para a retomada da questão social, no quinto momento “foi proposto que os estudantes produzissem um vídeo sobre o tema bomba atômica

e energia nuclear relacionando com a equação $E = mc^2$ ” (PEDROSO, 2017, p. 79). Como resumido no Quadro 12, e descrito pelo autor ao longo da dissertação, percebemos a iniciativa de enfoque CTS confundida com a apresentação do EI como metodologia – ou seja, ambos são entendidos como metodologia –, além de um distanciamento da dimensão política e social do problema, como se apenas a compreensão científica fosse o suficiente para entender tudo acerca da problematização.

Cardoso (2017) organiza a SD em blocos representados no Quadro 13. Percebemos a separação em três momentos: o bloco I representa a problematização; o bloco II, o estudo do conhecimento científico e o bloco III, a aplicação do conhecimento científico.

Quadro 13: Momentos da SD.

Blocos	Atividades
I	Documentário “O pesadelo azul”
	Mesa redonda
	Conversa em grupo
II	Atividades investigativas
III	Visitas técnicas
IV	Aulas expositivas

Fonte: Elaboração própria.

As atividades do bloco I são centralizadas no acidente radiológico de Goiânia e foi apresentado de forma ampla,

(...) com a participação de professores que já atuam com o grupo de alunos participante da atividade, das disciplinas Biologia, Química e Sociologia, na qual foram discutidos os aspectos sociais, ambientais, políticos e econômicos relativos ao acidente. Cada professor apresentou uma análise do acidente segundo aspectos de sua disciplina, ratificando a necessidade de considerar diferentes elementos para que seja possível compreender o todo (CARDOSO, 2017, p. 101).

A autora busca discutir os diferentes aspectos relacionados à problemática com o auxílio de outras componentes curriculares e promove uma discussão em grupo entre os estudantes de maneira a elaborarem perguntas acerca do acidente. As perguntas, ao que parece, não foram elaboradas em sala de aula, visto que os estudantes tiveram um prazo de uma semana para realizar a entrega e a autora não deixou claro se as perguntas foram respondidas à turma nas discussões posteriores a esta atividade.

O segundo bloco começa com a realização de um questionário afim de ter a percepção de conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema Física das Radiações. Em seguida, a primeira atividade investigativa realizada é constituída pela busca de materiais ao redor da escola que emitam radiação. Para tanto, os estudantes receberam instruções de como utilizar o contador *Geiger*, instrumento usado durante a atividade. A segunda atividade investigativa

apresenta como objetivo a “construção do gráfico que representa a relação entre o percentual do fármaco no organismo e o número de meia-vida” (CARDOSO, 2017, p 110). A terceira atividade investigativa foi de cunho técnico, isto é, as regras que o mercado “necessita” cumprir para o controle de qualidade de produtos. Para isso, Cardoso (2017) apresenta três canetas de marcas diferentes e pergunta qual é a de melhor qualidade e qual critério o estudante utilizou para determinar.

O terceiro bloco foi constituído pela visita técnica à empresa Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (NUCLEP) que utiliza radiação para controle de qualidade em seu processo produtivo, a qual é retomada no bloco IV composto por “aulas expositivas sobre aplicações industriais (...) especificamente para o caso da radiação gama, por meio da técnica de gamagrafia” (CARDOSO, 2017, p. 140). Houve uma segunda visita técnica, no bloco III, abrangendo o uso da radiação para fornecer energia elétrica. Parece que a intenção da autora foi mostrar mais aplicabilidades a partir dos aspectos que foram discutidos no bloco I. Essa visita ocorreu no Centro de Informação de Itaorna.

A autora destaca como objetivo final que o estudante compreenda que “o uso da técnica de gamagrafia para fins de controle de qualidade traz benefícios para a sociedade, à medida que pode promover a redução dos custos envolvidos na produção de bens e materiais.” (CARDOSO, 2017, p. 140). Essa é uma discussão centrada no uso da tecnologia, uma “tecnologia para o bem” (CARDOSO, 2017, p. 140), indo ao encontro da visão instrumentalista da tecnologia.

Por último, Fernandes (2012) apresenta, de maneira sucinta, a descrição de duas atividades investigativas. A primeira atividade trata da discussão e análise na comparação de preços de produtos oferecidos por um mercado fictício. Esse mercado apresenta produtos em diferentes unidades de medida não usuais nos mercados em geral, por exemplo feijão em mL, espaguete por metro etc. Os estudantes teriam que realizar a comparação de preços tomando o cuidado em observar as diferentes unidades utilizadas para produtos de mesma categoria. Fernandes (2012) ressalta que um “dos objetivos da atividade era aproveitar o tema [unidades de medida] como facilitador na construção de uma atividade didática em CTS” (FERNANDES, 2012, p. 68).

Desta forma, Fernandes (2012) deixa a entender que o objetivo não é apresentar uma SD com enfoque em CTS, mas atividades que poderiam ser utilizadas ao se trabalhar o tema “unidades de medida” no Ensino Médio. Em seguida, com a exibição de dois *trailers* “como motivação, (...) Star Trek e a Volta do Todo Poderoso” (FERNANDES, 2012, p. 69) e um texto sobre a construção de uma réplica da Arca de Noé, o autor dá início à segunda atividade. Nela,

os estudantes realizaram a medição do comprimento da sala de aula, utilizando diferentes instrumentos por eles escolhidos. Percebe-se, então, um foco na utilização do sistema de unidades e não nas relações CTS perpassando por este conteúdo.

No que tange aos aspectos organizacional, cultural e técnico da tecnologia (SANTOS; MORTIMER, 2000), observamos que os trabalhos se limitaram às questões técnicas e científicas e a problemática tornou-se um motivador da SD. Além disso, percebe-se uma trajetória linear delimitada pelo MTLP (AULER, 2007) e qualquer tentativa de um currículo em espiral centra-se no conteúdo científico. Em síntese, os trabalhos não apresentaram, na descrição de suas atividades, a razão pela escolha do tema e, em geral, foram guiados pelo conteúdo científico, sendo este, inclusive o delimitador da problematização, desconsiderando “(...) o contexto pessoal, social, histórico, ético, político e econômico” (ROSO; AULER; DELIZOICOV, p. 227, 2020).

4.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Percebemos, através dos trabalhos que foram analisados, uma lacuna em SD que apresentem os pressupostos do enfoque CTS. Como analisado anteriormente, temos a predominância do entendimento por parte dos autores de uma ciência neutra e criadora de tecnologias que são a solução para problemas sociais. Como dito, observamos a caracterização das SD frente ao MTLP (AULER, 2007).

A partir do EA, em paralelo com o estudo do enfoque CTS, procuramos, então, desenvolver uma SD que busque apresentar os pressupostos CTS que se afaste do MTLP. Esperamos que culmine em uma tomada de decisão que leva em conta mais dimensões do problema social, além do conteúdo científico e do aspecto técnico da tecnologia destacados nos trabalhos acima.

Além da lacuna em CTS, percebemos uma ausência de trabalhos referentes ao conteúdo de termodinâmica específico da PLT, o que nos levou a propor uma SD que contemple os conteúdos CTS em conjunto com o referido conteúdo científico. Para tanto, a SD é composta sete aulas com a duração de 50 minutos cada e escolhemos o tema “transporte público na modalidade ônibus”, ancorados pelos temas globais (SANTOS; MORTIMER, 2000). A organização da SD se dá pelos 3MP: (i) problematização inicial: Aula 1; (ii) organização do conhecimento: Aulas 2, 3 e 4; e (iii) aplicação do conhecimento: Aulas 5, 6 e 7. Além disso, a SD parte da premissa de que os conceitos de trabalho, calor, gás ideal e equação geral dos gases foram previamente ensinados aos estudantes.

A seguir apresentamos uma visão geral da SD, Quadro 14.

Quadro 14: Visão geral da SD.

Aulas	Objetivo	Atividade/Metodologia	Recursos
Aula 1	Diagnosticar o entendimento dos estudantes sobre os aspectos da tecnologia associados à palavra “ônibus”	Associação livre de palavras	Papel e material para escrever
	Diagnosticar as visões dos estudantes sobre tecnologia	Leitura do caso para estudo e resposta à questão proposta	Material impresso contendo o caso para estudo e as questões
Aula 2	Identificar os três aspectos da tecnologia	Diálogo argumentativo	Vídeos que abordam os três aspectos da tecnologia
Aula 3	Diagnosticar os conceitos de calor, trabalho e gás ideal	Avaliação formativa	Aplicativo <i>Plickers</i>
	Introduzir o conceito de energia interna	Ensino por investigação	Simulador do <i>PHET</i>
Aula 4	Enunciar a PLT	Aula expositiva dialogada	Vídeo do funcionamento de um motor de combustão interna real (ciclo Otto)
		Avaliação formativa	Aplicativo <i>Plickers</i>
Aula 5	Relacionar a PLT e a poluição veicular	Retomada do problema pelo professor	Nuvem de palavras elaborada a partir da associação livre de palavras (Aula 1)
		Diálogo argumentativo	Cinco textos distintos que abordam a poluição veicular.
Aula 6	Diagnosticar as visões dos estudantes sobre tecnologia	Leitura do caso para estudo e resposta à questão proposta	Material impresso contendo o caso para estudo e as questões
Aula 7	Sistematizar os conhecimentos socio científicos	Aula expositiva dialogada	Quadro e giz

Fonte: Elaboração própria.

Todas as aulas apresentam avaliação formativa, a qual se realiza durante o processo de ensino e aprendizagem, sendo definida como uma avaliação qualitativa (PEREIRA, 2021). Segundo Pereira (2021), a avaliação formativa “refere-se ao acompanhamento, supervisão, gerenciamento e monitoramento que o professor consegue fazer dos educandos durante o processo de ensino e aprendizagem” (PEREIRA, 2021, p. 56). Para as aulas 3 e 4, a avaliação

formativa é realizada usando o aplicativo *Plickers*¹⁶, “uma ferramenta de avaliação para questões objetivas” (PEREIRA, 2021, p. 113).

A Aula 1 apresenta dois diagnósticos referentes à problematização inicial. Para a escolha do recurso, consideramos que no de trabalho de Cunha (2018) houve um encaminhamento para o Trem MAGLEV como possível solução para a problemática por ele proposta. Refletindo sobre esse aspecto, decidimos que o problema deveria ser caracterizado pelos estudantes para que a tomada de decisão não se tornasse algo pronto, ou seja, fosse construída ao longo do processo com a participação dos estudantes. Desse modo, a problemática utilizada é o “transporte público na modalidade ônibus”, com o desenvolvimento de duas atividades: (i) a associação livre de palavras; e (ii) a leitura do caso para estudo e resposta às questões propostas.

A primeira atividade é desenvolvida considerando relevante entendermos a concepção da turma acerca do problema que será discutido, como apontado anteriormente na primeira etapa dos 3MP. A associação livre de palavras é um recurso didático-metodológico que fornece um diagnóstico sobre tais concepções caracterizando o perfil da turma em relação à problemática inicial. Consiste “(...) na apresentação de uma palavra-estímulo ao respondente para que ele, por meio de uma associação livre, designasse o objeto apresentado” (SHIMIZU; MENIN, 2004. p. 241). Ou seja, o professor ao utilizar este recurso didático-metodológico informa uma palavra e os estudantes devem escrever um pequeno conjunto de palavras que inicialmente lhe vêm a sua cabeça sobre a palavra informada. Esse conjunto de palavras deve ser definida pelo docente e informada previamente aos estudantes. Na SD proposta, a associação livre de palavras utiliza o vocábulo “ônibus”.

Na segunda atividade, embora Auler (2007) aponte a tomada de decisão como o ápice do processo de ensino, não nos parece ser este apontamento uma prescrição sendo, portanto, passível de adaptações. Assim, propomos nesta SD a tomada de decisão no seu início como um diagnóstico da visão que os estudantes possuem sobre a tecnologia “ônibus” a partir do caso para estudo e novamente ao final da SD, após a etapa de organização do conhecimento (3MP), tornando esse momento o ápice da SD, de modo coerente ao indicado por Auler (2007).

¹⁶ Disponível para download em <https://www.plickers.com/>. Consulte também a dissertação de Pereira (2021): PEREIRA, F. G. **Avaliação formativa sobre energia:** uma proposta de sequência didática utilizando o aplicativo *Plickers*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora 2021.

Segundo Santos e Mortimer¹⁷ (2000), esse recurso didático-metodológico permite o trabalho com temas sociais, pois se parte de um problema social e se elabora um caso fictício que apresenta uma construção textual narrativa e descritiva (CLEMENTE JR., 2012). Como aponta Queiros e Cabral (2016), os casos são, nesse contexto, “entendidos como narrativas sobre dilemas vivenciados por pessoas que necessitam tomar decisões a respeito de determinados assuntos” (QUEIROS; CABRAL, 2016, p. 11). Quanto à construção do caso para estudo, devem ser levadas em consideração algumas características descritas pelos autores, que podem ser assim resumidas:

- Narra uma história;
- Desperta o interesse pela questão;
- Deve ser atual;
- Produz empatia para com as personagens centrais;
- Inclui diálogos;
- É relevante ao leitor;
- Tem utilidade pedagógica;
- Provoca um conflito;
- Força uma decisão;
- Tem generalizações; e
- É curto.

Eles ainda destacam que os casos de estudos podem “(...) possibilitar a abordagem de questões científicas e/ou sociocientíficas. Estas últimas trazem em seu bojo um viés científico vinculado a outro de natureza social” (QUEIROS; CABRAL, 2016, p. 15). Para tanto, apresentam diversos casos para estudo para trabalhar diferentes questões científicas e sociocientíficas, dos quais apresentamos alguns no Quadro 15.

Quadro 15: Questões científicas e sociocientíficas que permeiam os casos para estudo.

Caso para Estudo	Questões Científicas	Questões Sociocientíficas
Elas são ninjas?	Bioinvasão ou invasão biológica, ecossistema, seres vivos, fauna, cadeia alimentar, legislação ambiental, manejo de espécies.	Venda ilegal de animais, intervenção humana sobre a natureza e espécies nativas, preservação ambiental, consumo responsável.
O pescador que não gostava de médicos	Aspectos ambientais e climáticos favoráveis à disseminação de doenças, formas de prevenção da febre maculosa.	Cuidados com o bem-estar físico e a influência do nível educacional das pessoas para a sua adoção.

¹⁷ Santos e Mortimer (2000) utilizam a nomenclatura de estudo de caso. Entendemos que para esta situação a terminologia caso para estudo é mais adequada pois é utilizado como recurso didático-metodológico. Já estudo de caso é uma metodologia de pesquisa (CLEMENTE Jr., 2012).

Mariza Lagarta	Saúde (obesidade, doenças relacionadas à obesidade), crudismo, termoquímica, calorias dos alimentos, sistema digestório, metabolismo, nutrientes.	<i>Bullying</i> , visão da sociedade sobre alimentação, alimentação saudável.
----------------	---	---

Fonte: Adaptado de Queiros e Cabral (2016).

Na SD proposta, o caso para estudo é composto de uma narrativa que se passa na cidade fictícia de Albuquerque. Albuquerque é uma típica cidade de interior que tem sua rotina mudada com a chegada de uma montadora de veículos e de novos e antigos moradores em busca de emprego. A montadora é instalada no bairro Santo Augusto e o aumento do fluxo de pessoas para trabalhar na montadora, entre outros acontecimentos, evidencia os problemas associados ao transporte público na modalidade ônibus. Estes problemas, levantados pelos moradores do bairro, são colocados em discussão em reunião junto à associação de moradores do bairro, cujo presidente é Vitor Manuel. Vítor Manuel, convidado para participar de uma audiência pública na Câmara de Vereadores da cidade, traça, junto com os moradores nesta reunião, possíveis propostas para a melhoria do transporte público no bairro.

Os estudantes são, então, convidados a votar em uma das propostas das personagens Isabel, Denis, Sandra e Amanda e justificar suas escolhas.

- (a) Isabel: As empresas de ônibus devem efetuar a manutenção a cada dois meses dos veículos, pois é de sua responsabilidade para que os ônibus estejam circulando em melhor estado.
- (b) Denis: É função das empresas de ônibus a busca por ônibus mais modernos, resultando na manutenção necessária a longo prazo e na melhoria do serviço prestado à população.
- (c) Sandra: As empresas de ônibus devem investir em estudos para o uso de combustíveis menos poluentes reduzindo o risco de doenças respiratórias no bairro.
- (d) Amanda: A empresa de ônibus e a comunidade discutirão a criação de um programa para manutenção dos ônibus e regulamentação das emissões de poluentes.

Tais propostas foram elaboradas baseadas nas visões da tecnologia, resumidas no Quadro 16.

Quadro 16: Visões da tecnologia.

Visões da tecnologia	Características	Exemplos
Instrumentalismo	<ul style="list-style-type: none"> • Controle humano da tecnologia e neutralidade de valores; • Tecnologia como ferramenta/instrumento para a satisfação de necessidades humanas; • Tecnologia pode ser usada para o bem ou para o mal. 	Inspeção frequente das máquinas.
Determinismo	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia neutra; • Tecnologia autônoma; • Tecnologia determina o avanço social; • Tecnologia como solução para os problemas sociais; • Domínio tecnológico gera produção eficiente e progresso. 	Combustíveis mais “eficientes”.
Substantivismo	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia assume compromisso com o bem-viver; • Tecnologia condicionada por valores; • Tecnologia autônoma. 	Diminuição das taxas de emissão dos combustíveis fósseis.
Adequação Sociotécnica	<ul style="list-style-type: none"> • Não neutralidade tecnológica; • Não neutralidade científica; • Tecnologia controlada pelo homem; • Tecnologia portadora de valores; • Tecnologia ainda pode ser a solução. 	Projetos/programas de controle das máquinas.

Fonte: Elaboração própria a partir de Dagnino; Brandão; Novaes (2004).

No instrumentalismo, a tecnologia é compreendida como neutra e controlada pelo homem, enquanto no determinismo ela é entendida como neutra e autônoma. A diferença entre essas visões está, grosso modo, no controle tecnológico: no instrumentalismo o homem determina o desenvolvimento a partir desse controle da tecnologia, enquanto, no determinismo, o avanço tecnológico determina o crescimento social.

Desse modo, a diferença entre as respostas de Isabel e Denis encontra-se nesse ponto. Temos a tecnologia sendo usada para suprir as necessidades humanas, mas Isabel destaca que a empresa (homem) determina a manutenção e dita o avanço pensando em uma solução mais imediata, por isso a manutenção dos ônibus a curto prazo. No caso de Denis, a tecnologia já determinou o que são ônibus modernos, cabendo às empresas apenas fazerem uso destes. Então, o aumento no prazo da manutenção vem da ideia de que a tecnologia determina o avanço. Em suma, Isabel e Dênis destacam o aspecto técnico da prática tecnológica, diferenciando-se no controle da tecnologia.

Uma das diferenças que podemos destacar entre o substantivismo e a adequação sociotécnica está na autonomia da tecnologia. No substantivismo apesar de a tecnologia ser condicionada por valores ela ainda se apresenta trazendo a preocupação única com o progresso, ou seja, ignora as questões sociais, entre outras, garantindo uma melhora no bem-estar. Por isso

Sandra apresenta a preocupação com a saúde. A proposta de Amanda, em contrapartida, busca analisar as diferentes faces da tecnologia com a proposta da elaboração de um programa onde a comunidade também participará indo de encontro à autonomia da tecnologia. Destaca-se, desse modo, na proposta de Sandra, os aspectos técnico e organizacional da prática tecnológica; e em Amanda, os aspectos técnico, cultural e organizacional da prática tecnológica.

Dito de outra forma, para o instrumentalismo, então, considerando o valor instrumental da tecnologia, o controle e o funcionamento das máquinas seriam essenciais. Ou seja, deve-se verificar as máquinas em intervalos periódicos a fim de garantir que continuem atendendo ao grupo social, por isso a proposta de Isabel destaca a manutenção periódica dos ônibus. No determinismo o foco poderia estar no desenvolvimento de máquinas mais “eficientes”, pois este crescimento poderia gerar melhoria no transporte público. Tal melhoria poderia ocasionar o aumento da frota e, conseqüentemente, o aumento do número de empregos gerando, assim, o progresso do grupo social. Desse modo a proposta de Denis centra-se na tecnologia desenvolvida pela multinacional visando esse “crescimento linear” e conseqüente melhoria no transporte público.

Conseguimos observar, nesse exemplo, de maneira mais acentuada a neutralidade da tecnologia, pois esta está isenta de fatores externos, como seu mau uso. No entanto, neste caso, quem garante que haverá aumento do número de empregos e não a circulação do mesmo contingente de ônibus ocasionando a superlotação? Essa garantia poderia surgir no substantivismo, em que a tecnologia, ainda autônoma, é condicionada por valores e passa a admitir o compromisso com o bem-viver, podendo assumir, por exemplo, o compromisso com os direitos humanos do grupo social. A proposta de Sandra destaca esse compromisso com o bem-viver pensando-se nos poluentes emitidos pelo motor à combustão interna.

Ainda, assim, não há a garantia de controle do grupo sobre a tecnologia. Temos a classe que domina o mercado como detentora da tecnologia e (por que não?) dos direitos humanos que serão “priorizados”. A participação do grupo social para a valia dos direitos humanos poderia ser garantida com a criação programas de controle constituído por membros deste grupo social, que vai ao encontro da visão da AST. Desse modo o desenvolvimento da tecnologia não estaria centrado apenas na classe detentora do mercado, pois tal crescimento deve estar de acordo com os direitos humanos. Portanto, a proposta de Amanda está vinculada à criação de programa para a regulamentação dessas taxas de emissão dos poluentes emitidos pelo motor à combustão interna.

Para as Aulas 2, 3 e 4 são abordados os Aspectos da Prática Tecnológica (APT) e o conteúdo científico referente à PLT, sendo realizadas as atividades: (i) diálogo argumentativo;

e (ii) ensino por investigação. Importante destacar que nesta etapa reconhecemos a possibilidade de um trabalho docente interdisciplinar por meio da discussão dos APT (Quadro 6) que estão associados às visões da tecnologia, conforme apresentado no Quadro 17.

Quadro 17: Os aspectos da prática tecnológica e as visões da tecnologia.

Aspectos da prática tecnológica	Característica	Relação entre as visões da tecnologia e os aspectos da prática tecnológica
Técnico	O foco está no uso e no saber usar da tecnologia.	Presente no Instrumentalismo e no Determinismo com a diferença no controle tecnológico.
Organizacional	O entorno tecnológico está relacionado à operação da tecnologia.	O substantivismo é a junção dos aspectos técnico e organizacional.
Cultural	O social interfere na “produção” tecnológica.	A adequação sociotécnica é a junção dos aspectos técnico, organizacional e cultural, com destaque para o cultural demarcando a não neutralidade da tecnologia.

Fonte: Elaboração própria.

Na aula 2 é desenvolvido um diálogo argumentativo. Segundo Cachuba e Possebom (2019), o diálogo argumentativo “consiste em um processo dinâmico onde dois ou mais agentes podem, por meio de uma interação entre eles, trocar informações por meio de argumentos” (CACHUBA; POSSEBOM, 2019, p. 1). Ou seja, é um recurso que permite a conversação por meio de uma troca de argumentos entre dois ou mais interlocutores acerca de um tema definido anteriormente, em que estes “argumentos representam as opiniões dos agentes sobre determinada informação (conclusão do argumento), contendo uma justificativa para esta opinião (premissa do argumento)” (CACHUBA; POSSEBOM, 2019, p. 1).

De acordo com Carvalho e Ferrarezi Jr (2018), o diálogo argumentativo pode ser dividido em seis etapas: (i) definição do formato da conversa; (ii) escolha do narrador da conversa; (iii) informação do tema da conversa; (iv) tempo de conversa; (v) conversa em grupo; e (vi) apresentação pelos narradores. Dessa maneira, o diálogo argumentativo se inicia com o professor definindo a divisão da turma, ou seja, se o formato da conversa será em organizada em grupos pequenos ou em duplas de estudantes. Além disso, o professor define as regras de boa conduta, como o respeito mútuo e o silêncio do grupo para ouvir quando um integrante do grupo estiver falando.

Definido o formato da conversa, o professor informa que cada grupo deverá escolher um narrador, o qual irá expor a discussão para a turma em etapa posterior. Também deverá informar que os estudantes não podem tomar notas durante o diálogo. Espera-se que, assim, haja maior atenção dos participantes durante o desenvolvimento da atividade. Em seguida, o docente comunica à turma o tema que será discutido em grupo e pode utilizar materiais que os auxiliem, como textos e vídeos. A partir de então, informados do tempo que terão para realizar

a conversa, o qual “deverá ser definido em função do número de alunos em cada grupo” (CARVALHO; FERRAREZI Jr, 2018, p. 81), os estudantes iniciam desenvolvem o diálogo.

Na SD em pauta, o diálogo argumentativo é realizado a partir da exibição de três vídeos que abordam os APT:

- (i) uma pequena reportagem que relata o aumento de passagem em Vila Velha, ES (GLOBOPLAY, 2017);
- (ii) uma matéria transmitida pelo Auto Esporte que traz doenças causadas pelo contato e alta exposição à combustíveis (VAMOS APITAR, 2016);
- (iii) uma reportagem sobre o transporte público em Belo Horizonte, MG, mostrando atrasos nas linhas, superlotação, demissão de funcionários, entre outros (MINAS, 2021).

A escolha dos vídeos levou em consideração os aspectos destacados no Quadro 18.

Quadro 18: APT destacados para a escolha dos vídeos da Aula 2.

Aspectos organizacionais da tecnologia	Aspectos técnicos da tecnologia	Aspectos culturais da tecnologia
<ul style="list-style-type: none"> • Superlotação • Demora no ponto de ônibus • Aumento de passagens • Paralisação dos motoristas (sindicatos) • Condições de trabalho • Manutenção e limpeza dos ônibus • Condições das vias (asfalto) 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor à combustão • Poluição (emissão de poluentes) • Combustíveis fósseis 	<ul style="list-style-type: none"> • Cinto de segurança • Assento preferencial • Embarque e desembarque • Protocolos de segurança (máscara, higienização etc.) • Jogar lixo no chão • Depredação do ônibus

Fonte: Elaboração própria.

Como partimos do pressuposto de que os estudantes já haviam estudado os conceitos de trabalho, calor, gás ideal e equação geral dos gases ideais, a Aula 3 se inicia com o diagnóstico sobre o entendimento dos estudantes acerca de tais conceitos. Para isso, utiliza-se o recurso *Plickers* para a realização de uma avaliação formativa, adotando as alternativas terapêuticas (PEREIRA, 2021) adequadas a cada questão. Em seguida, seguindo a estrutura do EI, é realizada a experimentação virtual para a introdução do conceito de energia interna e sua relação com os processos de calor e trabalho.

Quanto às etapas do EI, Carvalho (2010) as apresenta como: (i) proposição da situação-problema; (ii) escrita da primeira hipótese individual pelos estudantes; (iii) resolução do problema; (iv) escrita da segunda hipótese individual pelos estudantes; (v) discussão das observações, resultados e interpretações obtidos; e (vi) sistematização do conteúdo científico. Frente a tais etapas, durante todo o processo de EI, o “professor assume um papel de propor problemas, acompanhar as discussões, promover novas oportunidades de reflexão, estimular, desafiar, argumentar” (TRIVELATO; SILVA, 2016, p. 76).

Para a determinação da situação-problema é importante que o professor tenha bem definido o(s) objetivo(s) da aula, pois o problema não deve ser formulado de maneira a indicar uma resposta direta. Ao contrário, deve ser capaz de estimular a discussão sobre o assunto que aborda e é aconselhável que o professor faça uso de questões motivadoras a fim de estimular tal discussão. As questões motivadoras também devem estar de acordo com o(s) objetivo(s) da aula. O professor pode pensar em pontos específicos da problemática que deseja destacar e elaborar as questões motivadoras a partir daí. Lembrando que é um caminho para fomentar a discussão e não proporcionar respostas diretas.

Nesta SD, a situação-problema foi: Como alterar a “movimentação” de um gás dentro de um recipiente? E as questões motivadoras: Como alterar a movimentação sem alterar o tamanho de um recipiente? Seria possível alterar o tamanho do recipiente sem utilizar objeto externo, ou seja, apenas com o gás em seu interior?

A etapa seguinte é a escrita da primeira hipótese individual, na qual os estudantes, individualmente, escrevem a primeira hipótese buscando solucionar o problema definido na primeira etapa. Os estudantes não devem conversar entre si nesta etapa a fim de que o material possa indicar um diagnóstico dos conhecimentos apropriados por cada um deles individualmente até aquele momento.

Posteriormente, os estudantes, em grupo, testam as hipóteses individuais na etapa de resolução do problema. Para tanto, utilizam do material disponibilizado pelo professor. Focamos na utilização da experimentação nesta etapa, uma vez que é a proposta feita no produto educacional deste trabalho. A experimentação pode ser material ou virtual (BORGES, 2002; MEDEIROS; MEDEIROS, 2002; HOHENFELD, 2013; PORTO; AMANTES; HOHENFELD, 2019) e, em função dela, os estudantes devem elaborar um plano de trabalho, que conduzirá as suas ações. Na experimentação material, os estudantes selecionam o material de trabalho e procedem à sua manipulação. Na experimentação virtual, os estudantes manipulam o simulador computacional. No caso deste produto educacional, o simulador utilizado foi o PhET: Estados da Matéria: Básico¹⁸.

Findada a experimentação, os estudantes, individualmente, escrevem suas conclusões partindo, em seguida, para a etapa onde poderá ocorrer a metacognição. Esta é a etapa onde ocorre a discussão das observações, resultados e interpretações obtidos e se busca o desenvolvimento do raciocínio metacognitivo pelos estudantes. É nela “que se solidificam as discussões realizadas nos grupos, levando-os a tomarem consciência das relações entre as variáveis do fenômeno estudado (...)” (CARVALHO, 2010, p. 62). Para que, então, “na passagem da etapa de explicar o como fizeram para o porquê deu certo” (CARVALHO, 2010, p. 63) o conceito se estabeleça, ou seja, os conceitos sejam formulados.

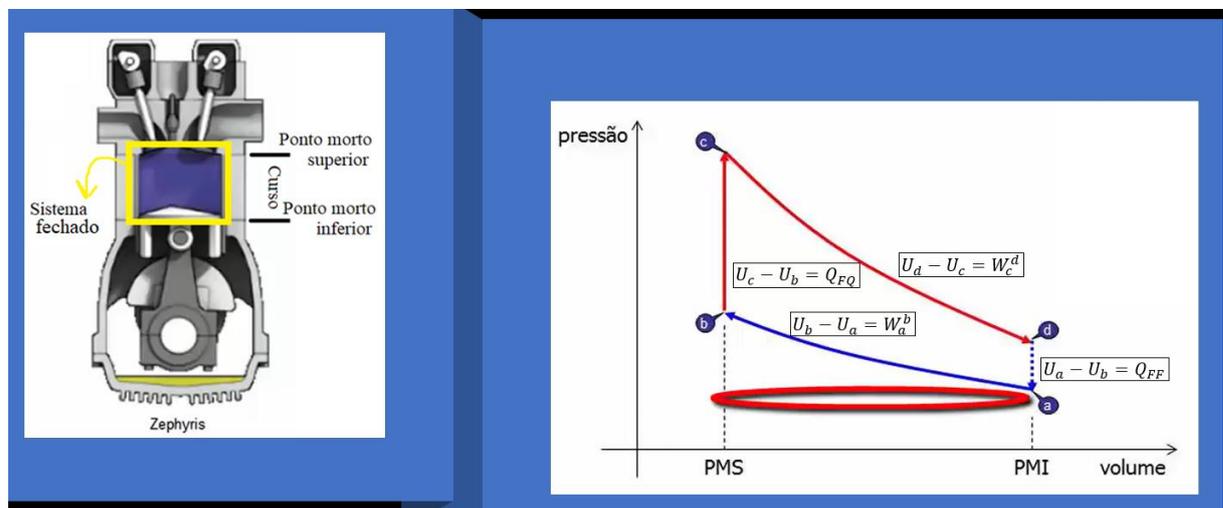
Como destaca Carvalho (2013), a sistematização consiste na passagem do que foi construído pelos estudantes para a linguagem científica. Esta etapa não precisa, necessariamente ocorrer na mesma aula e o professor pode fazer uso de recursos como a “leitura de um texto escrito” (CARVALHO, 2013, p. 9) em que os estudantes “podem novamente

¹⁸ Disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html. Acesso em 18 de julho de 2022.

discutir, comparando o que fizeram e o que pensaram ao resolver o problema, com o relatado no texto” (CARVALHO, 2013, p. 9).

É o que se propõe na SD planejada. A Aula 4 começa com a sistematização do EI: formalização do conteúdo científico com a definição do conceito de energia interna. Posteriormente, para um momento expositivo dialogado, é utilizada uma apresentação em *slides* na qual o professor irá enunciar a PLT. Para tanto, foi realizada a edição do vídeo que discute, graficamente, o comportamento da mistura ar-combustível no Ciclo Otto (SELEGHIM, 2015). Ainda na discussão sobre as etapas do Ciclo Otto, a combustão com a emissão de poluentes é destacada sendo este o mote para a Aula 5.

Figura 14: Material elaborado para a Aula 4.



Fonte: Elaboração própria.

A etapa de aplicação do conhecimento contempla as Aulas 5, 6 e 7, finalizando com a retomada do caso para estudo. Para tanto, propomos a retomada do problema a partir das concepções dos estudantes (Aula 5) obtidas no diagnóstico da Aula 1. Da atividade de associação livre de palavras desenvolvida com a palavra “ônibus” é criada uma nuvem de palavras no aplicativo “*Wordcloud*”, a qual é utilizada pelo professor para fazer a retomada do problema abordando os aspectos, características e valores do transporte público a partir do que foi apontado pelos estudantes. Em seguida, através do diálogo argumentativo, buscamos abranger a discussão sobre a utilização do motor à combustão interna a partir de cinco textos distintos que abordam a poluição veicular. A escolha dos textos se deu considerando a questão da poluição veicular e a leitura dos trabalhos apresentados no estado da arte. Foram, então, adaptados três textos a partir do trabalho de Cunha (2018), aos quais agregamos dois outros textos jornalísticos: (i) “Poluição veicular: um problema global e local – parte 1” e (ii) “Poluição veicular: um problema global e local – parte 2”; (iii) “Uma opção de transporte”; (iv) “Na

contramão do mundo, Toyota se recusa a abandonar motores a combustão”; (v) “Juiz de Fora realiza testes para circulação de ônibus sustentável”. A adaptação dos textos do trabalho de Cunha (2018) ocorreu com o desmembramento em dois, agregando informações sobre a poluição veicular em Juiz de Fora (MENINI; PROCÓPIO, 2020) no texto (i). O texto (iii) também é adaptado do referido autor; já os textos (iv) e (v) são reportagens que tratam da possível substituição do motor a combustão interna e soluções mais sustentáveis para o transporte em Juiz de Fora, respectivamente.

A Aula 6 é composta por uma avaliação formativa, na qual é reapresentado aos estudantes o caso para estudo da Aula 1. O objetivo é observar se houve alguma mudança em relação às respostas obtidas na Aula 1. Aqui o professor poderá comparar com as respostas dadas pelos estudantes na Aula 1 avaliando a mudança ou não que ocorreu com o entendimento deles ao longo do processo. Essa é a proposta de tomada de decisão ancorada no estudo e desenvolvimento dos outros pressupostos da concepção CTS.

A Aula 7 constitui-se de um momento expositivo dialogado no qual propomos realizar a discussão sobre as alternativas do caso para estudo em perspectiva com os APT e as visões da tecnologia, Quadro 16, relacionadas também com os pontos resumidos no Quadro 17 e no Quadro 18 e sintetizadas no Quadro 19.

Quadro 19: Síntese das alternativas do caso para estudo.

APT	Visões da Tecnologia	Característica demarcada na proposta	Diferença
Técnico	Instrumentalismo Isabel	Controle Tecnológico	Tecnologia controlada pelo homem
	Determinismo Denis		Tecnologia autônoma
Técnico Organizacional	Substantivismo Sandra	MLTP	Preconiza o MLTP destacando uma “preocupação com o bem-estar social”
Técnico Organizacional Cultural	Adequação Sociotécnica Amanda		Ênfase na não neutralidade da ciência apresentando uma perspectiva crítica do MLTP

Fonte: Elaboração própria.

5. METODOLOGIA E ANÁLISE

Nesta etapa do trabalho, discorreremos sobre os dados utilizando a técnica da Análise de Conteúdo (BARDIN, 1977; CAVALCANTE; CALIXTO; PINHEIRO, 2014). Para tanto, apresentamos uma breve descrição do processo de Elaboração-Aplicação-Reelaboração (EAR) (GUIMARÃES; GIORDAN, 2013) destacando o processo de validação por pares aqui desenvolvido (GUIMARÃES; GIORDAN, 2012).

A SD foi desenvolvida para o ensino presencial, o qual não foi possível devido à pandemia do COVID-19. Desse modo a validação por pares ocorreu na turma de Termodinâmica e Física Estatística do MNPEF do Polo 24 da UFJF/IFSudesteMG, durante o semestre 2021.2, em acordo com a Resolução Nº 1 da CPG Nacional do MNPEF (2020). Em seguida detalhamos a Reelaboração da SD.

5.1 O PROCESSO EAR: VALIDAÇÃO POR PARES

O processo EAR é caracterizado como

(...) um método de elaboração e validação de Sequências Didáticas segundo análise sistematizada e avaliações consecutivas de cada um dos elementos que constitui a SD, de seu contexto de aplicação, de seus resultados e de sua relação com o plano anual de ensino da escola (GUIMARÃES; GIORDAN, 2013, p. 3).

O seu desenvolvimento, grosso modo, é constituído por três etapas, a saber:

- Elaboração: consiste no planejamento e organização da SD. Como destacam Guimarães e Giordan (2013), a “elaboração da SD no processo EAR precisa ser conduzida segundo fundamentação teórica que oriente a ação docente e suas estratégias de ação.” (GUIMARÃES; GIORDAN, 2013, p. 4).
- Aplicação: consiste nas validações realizadas por especialistas, pares e professores coordenadores e pela aplicação em sala de aula. Ela é composta por quatro etapas.

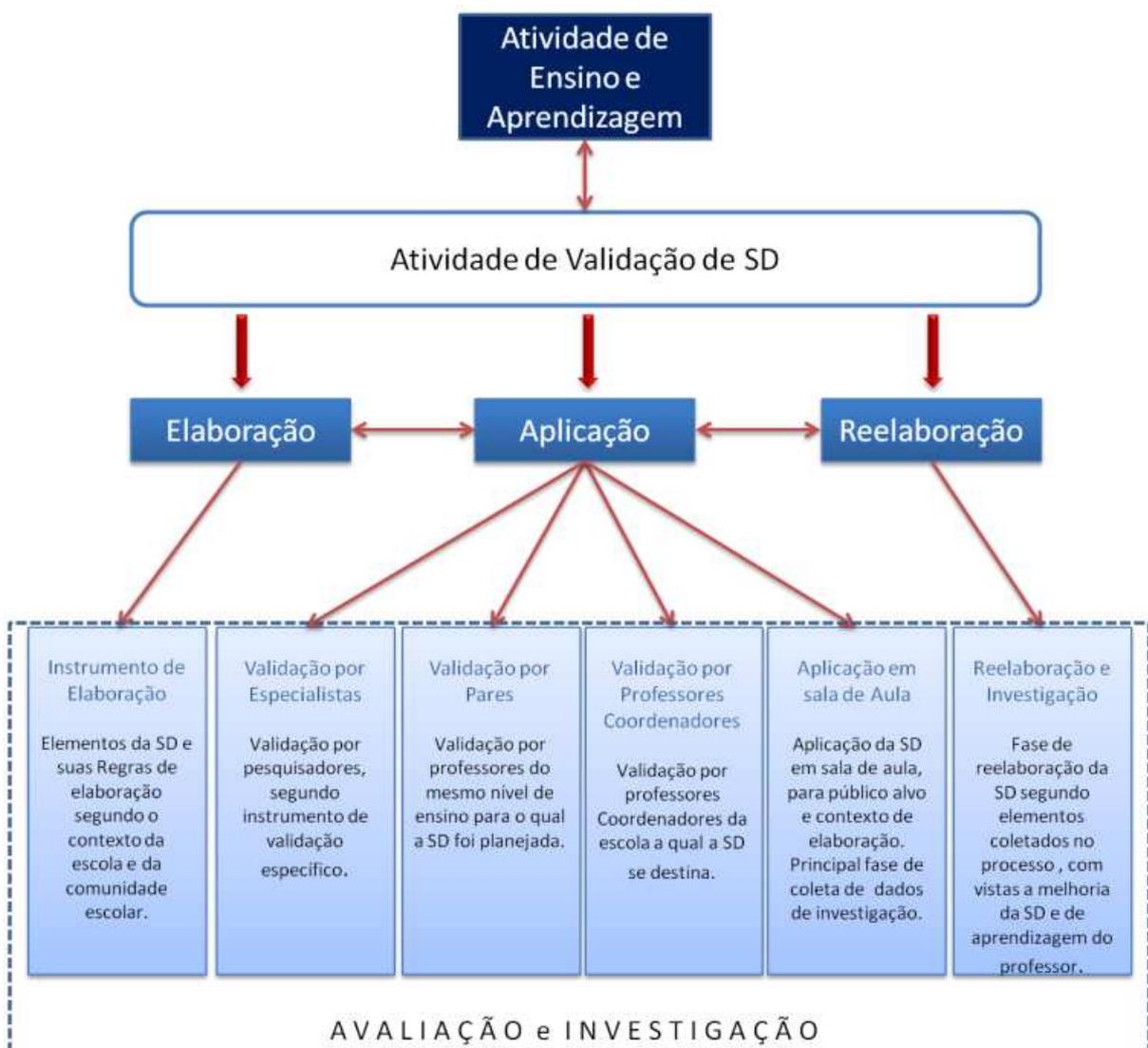
Sendo três etapas de validação **a priori**, realizadas segundo instrumentos de validação específicos (Giordan e Guimarães, 2012) e uma etapa na qual a SD é desenvolvida em sala de aula, esta última constitui a **experimentação** no processo de validação. Em cada uma das etapas a SD pode e deve ser revista pelo professor como forma de validação da SD (GUIMARÃES; GIORDAN, 2013, p. 5 – grifos do autor).

- Reelaboração: consiste nas modificações realizadas pelo professor considerando os elementos do processo.

Nesta fase de validação o professor, de posse das informações das fases anteriores pode confrontar suas percepções e objetivos quanto à elaboração da SD, da análise **a priori** e os dados da experimentação. A confrontação dos resultados representa o fechamento do processo cíclico de validação. É quando o professor retoma a elaboração, mas munido de informações e experiências importantes no sentido de aprimorar a SD e sua ação docente (GUIMARÃES; GIORDAN, 2013, p. 5 – grifos do autor).

De forma esquemática, o processo EAR é apresentado na Figura 15 a seguir.

Figura 15: Representação esquemática das fases que compõem cada uma das fases no processo de validação da SD.



Fonte: Guimarães e Giordan (2013).

Considerando a figura, observamos que o processo de validação por pares está inserido na etapa de Aplicação. No contexto desse trabalho, a validação por pares objetivou uma análise

da SD elaborada perpassando pelos seguintes pontos: (i) estrutura e organização; (ii) problematização; (iii) conteúdos e conceitos; e (iv) metodologias de ensino e avaliação.

Esclarecemos que as demais dimensões da etapa de Aplicação não foram abordadas em função do quadro pandêmico vivenciado durante o período de desenvolvimento da SD. Apesar disso, reconhecemos a importância de tais etapas. Em particular, aquela relativa à participação dos professores coordenadores, uma vez que ela está associada ao Projeto Político Pedagógico da escola.

A elaboração da SD foi apresentada de forma detalhada nos capítulos anteriores ancorada no enfoque CTS e sua utilização foi prevista na modalidade presencial. Entretanto, como dito acima, as condições da pandemia de Covid-19 inviabilizaram tal etapa do processo EAR.

5.2 APRESENTAÇÃO DO *CORPUS* E ANÁLISE

O processo de validação da SD nesse trabalho ocorreu junto aos mestrandos que compuseram a turma de Termodinâmica e Física Estatística do MNPEF do Polo 24 da UFJF/IFSudesteMG, durante o semestre 2021.2. O processo de validação por pares da SD foi realizado duas etapas:

- um questionário estruturado no *Google Forms*, com o objetivo de identificar qual era a percepção dos professores sobre os aspectos gerais da SD;
- uma entrevista, com o objetivo de aprofundar a compreensão aspectos que surgiram a partir das respostas ao questionário (SZYMANSKI, 2018).

Anteriormente à apresentação do questionário aos docentes, foi realizada uma exposição para a turma detalhando as aulas que compõem a SD: (i) objetivos; (ii) conteúdos; (iii) metodologias de ensino e recursos didáticos; (iv) avaliações. Foi feita, também, a leitura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) onde, dentre outros aspectos, foi garantido o anonimato dos professores, e disponibilizado o acesso a uma pasta em um *drive* com as aulas da SD e as suas atividades previstas. Esta etapa contou com a participação de seis professores.

O questionário foi elaborado com alternativas segundo a escala de Likert (CUNHA, 2007) e conteve perguntas sobre a formação inicial dos professores, sua atuação profissional, os cursos posteriormente realizados à formação inicial e o conhecimento e/ou desenvolvimento de trabalhos com o enfoque CTS. Tal instrumento foi elaborado com afirmações acerca das dimensões de análise da SD indicadas abaixo:

1. Estrutura e Organização. Essa dimensão foi composta por 8 afirmações que abrangeram a originalidade da SD, se estava condizente com o público-alvo e com o currículo do Ensino Médio, se os planos de aulas possuíam uma redação clara, se o tempo e a explicação em relação às atividades propostas eram suficientes;
2. Problematização. Dimensão composta por 10 afirmações que abordaram a problemática e como ela se relacionava com a SD. Desse modo os questionamentos se relacionaram com: (i) aos recursos escolhidos para trabalhar a problemática; (ii) à contextualização desta; e (iii) à sua relação com a metodologia que ancora toda a SD;
3. Conteúdos e Conceitos. Composta por 13 afirmações sobre os objetivos, as atividades e os conteúdos que foram apresentados ao longo da SD. O objetivo foi analisar a interligação entre eles. Por exemplo, se os objetivos se vinculavam com a problemática e os conceitos apresentados; se os conteúdos propostos eram suficientes para que alcançar os objetivos elencados;
4. Metodologias de Ensino e Avaliação: Composta por 11 afirmações acerca dos métodos, atividades e instrumentos de avaliação, bem como das metodologias de ensino propostas pela SD: (i) estratégias didáticas; (ii) recursos didático-metodológicos; (iii) atividades propostas.

A partir do levantamento das respostas do questionário foram elaboradas dez perguntas que constituíram uma entrevista, a qual foi realizada para um melhor entendimento das dimensões de análise da SD. A entrevista contou com a participação de quatro professores, sendo três homens e uma mulher. A fim de preservar o anonimato dos docentes participantes, garantido pelo TCLE, estes foram identificados com nomes fictícios femininos. A análise apresentada a seguir foi realizada sobre o *corpus* constituído pelas respostas às entrevistas e inserimos dados do questionário quando julgamos necessário para melhor compreensão.

As professoras Tiana, Isabela e Ana informaram que são formadas em Licenciatura em Física, enquanto Sofia é formada em Licenciatura em Química. Além disso, Tiana e Isabela disseram que lecionam para as turmas do Ensino Médio Regular (EMR) e da Educação de Jovens e Adultos (EJA); e Ana e Sofia apenas para as turmas do EMR.

Quanto à Estrutura e Organização da SD, as perguntas abrangeram: (i) a originalidade da SD; (ii) a leitura dos planos de aula; (iii) o tempo das atividades propostas na SD. Todas as professoras concordaram que a SD proposta é original, sendo destacado por Ana a escolha dos diferentes recursos selecionados para trabalhar os conteúdos indicados nos planos de aula:

Tanto é que eu vi que você usou de todos os recursos e fontes e assim, vários, onde você foi encaixando. Eu vi que você tentou encaixar em cada aula ali uma coisa diferente para tornar essa aula uma coisa mais atrativa, mais interessante, mais informativa, então, eu percebi uma elaboração sua. Eu não vi nada parecido (trecho da entrevista com Ana).

Sobre a leitura dos planos de aula e o tempo destinado às atividades, precisamos retomar o estado da arte desenvolvido. Nele, observamos uma lacuna em trabalhos que apresentassem os pressupostos CTS, isto é, os trabalhos tinham currículos com ênfase (i) no conteúdo científico; e (ii) nas práticas CT como aplicações do conteúdo científico (Quadro 8). Compreendemos que, de forma semelhantes, essa lacuna se fez presente nas entrevistas. Destacamos a fala das professoras para o uso da tecnologia, limitando-se ao aspecto técnico da prática tecnológica e a centralidade no conteúdo científico. Pode ainda indicar um desconhecimento em relação às metodologias utilizadas, o que se reflete numa preocupação, por parte das entrevistadas, em relação ao tempo destinado às atividades. A professora Isabela, referindo-se à escola em que trabalha, afirmou que:

“Eu acho que para turma muito grande igual a gente tem lá, eu diria não mudar, as atividades são boas. O que tem pra fazer é legal, o texto, eu vi lá durante as aulas. Eu acho que talvez esticar o tempo um pouquinho” (trecho da entrevista com Isabela).

Por exemplo, ela destacou o uso do tempo no diálogo argumentativo. No entanto, compreendemos que o trabalho com o diálogo argumentativo em sala de aula é um processo gradativo. Na SD o tempo de conversa é pensado de forma gradativa, ou seja, se o estudante não tem familiaridade com o recurso, o professor deixa um tempo menor para a conversa de forma a não dispersarem do assunto. O professor tem o papel de garantir que a conversa esteja focada no tema proposto, podendo fazer uso de perguntas para reorientar a conversa caso os estudantes mudem de assunto. À medida que o estudante se torne familiarizado com o recurso, o professor pode aumentar o tempo destinado ao diálogo.

Desse modo, no que tange a leitura dos planos de aulas, as professoras destacaram o uso das metodologias apontando a necessidade de uma maior explicação em relação a este uso nos planos de aula que compõem a SD, como já destacado por Isabela ao abordar o tempo das atividades. De forma semelhante, Tiana aponta a necessidade de esclarecimento sobre a atividade de ensino por investigação. Em suas palavras: “Essa metacognição, no seu produto, você vai deixar especificado o que o professor vai ter que perguntar? Ou vai ser no momento que o professor estiver dando a aula?” (trecho da entrevista com Tiana) e Ana em relação aos aspectos da prática tecnológica conectados com a utilização da metodologia diálogo

argumentativo, como lemos no seguinte trecho: “Cada coluna representa um aspecto [da prática tecnológica]. Peraí, o que são esses aspectos?” (trecho da entrevista com Ana).

Em função disso, no produto educacional, organizamos a descrição do uso das metodologias utilizando os quadros resumos (Quadro 16, Quadro 17, Quadro 18 e Quadro 19) construídos ao longo da dissertação e relativos aos aspectos centrais da prática tecnológica, às visões da tecnologia, como sintetizados no Quadro 20 abaixo.

Quadro 20: Visões da Tecnologia relacionadas com os APT e as alternativas do caso para estudo.

Características APT	APT presentes na problematização	APT presentes nas Visões da Tecnologia	Visões da Tecnologia/ Personagem do caso para estudo	Características	Característica demarcada na proposta	Diferença
Técnico: o foco está no uso e no saber usar da tecnologia	Motor à combustão; Poluição (emissão de poluentes); Combustíveis fósseis.	Técnico	Instrumentalismo Isabel	Controle humano da tecnologia e neutralidade de valores; Tecnologia como ferramenta/instrumento para a satisfação de necessidades humanas; Tecnologia pode ser usada para o bem ou para o mal.	Controle Tecnológico	Tecnologia controlada pelo homem
			Determinismo Denis	Tecnologia neutra; Tecnologia autônoma; Tecnologia determina o avanço social; Tecnologia como solução para os problemas sociais; Domínio tecnológico gera produção eficiente e progresso.		Tecnologia autônoma
Organizacional: o entorno tecnológico está relacionado à operação da tecnologia	Superlotação; Demora no ponto de ônibus; Aumento de passagens; Paralisação dos motoristas (sindicatos); Condições de trabalho; Manutenção e limpeza dos ônibus; Condições das vias (asfalto).	Técnico Organizacional	Substantivismo Sandra	Tecnologia assume compromisso com o bem-viver; Tecnologia condicionada por valores; Tecnologia autônoma.	MLTP	Preconiza o MLTP destacando uma “preocupação com o bem-estar social”
Cultural: o social interfere na “produção” tecnológica	Cinto de segurança; Assento preferencial; Embarque e desembarque; Protocolos de segurança (máscara, higienização etc.); Jogar lixo no chão; Depredação do ônibus.	Técnico Organizacional Cultural	Adequação Sociotécnica	Não neutralidade tecnológica; Não neutralidade científica; Tecnologia controlada pelo homem; Tecnologia portadora de valores; Tecnologia ainda pode ser a solução.		Ênfase na não neutralidade da ciência apresentando uma perspectiva crítica do MLTP

Fonte: Elaboração própria.

No Quadro 21, destacamos em negrito, no tópico Formalização, onde foram demarcados os APT presentes na problematização proposta na Aula 2 da SD.

Quadro 21: Os APT da problematização estão presentes na formalização da Aula 2.

Atividades de ensino e metodologia:
<p>Primeiro diálogo argumentativo (CARVALHO; FERRAREZI Jr., 2018):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Em grupo, os estudantes discutirão sobre as características do transporte público. Cada grupo definirá um relator, este falará para a classe a discussão de seu grupo. Não podem ser tomadas notas pelos integrantes dos grupos durante a discussão. (Duração: cerca de 3 minutos) • Os relatores irão expor as discussões realizadas em grupo. (Duração: cerca de 3 minutos) <p>Segundo diálogo argumentativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serão exibidos 3 vídeos: uma pequena reportagem que relata o aumento de passagem em Vila Velha, ES (GLOBOPLAY, 2017); uma matéria transmitida pelo Auto Esporte que traz doenças causadas pelo contato e alta exposição à combustíveis (VAMOS APITAR, 2016); uma reportagem sobre o transporte público em Belo Horizonte, MG, mostrando atrasos nas linhas, superlotação, demissão de funcionários, entre outros. Os vídeos serão transmitidos na ordem descrita. (Duração: cerca de 11 minutos) • Em grupo, os estudantes discutirão novamente sobre as características do transporte público levando em consideração as informações contidas nos vídeos. (Duração: cerca de 5 minutos) • Os relatores irão expor as discussões realizadas em grupo. (Duração: cerca de 5 minutos) • Formalização: elaborar uma lista construída coletivamente dos aspectos da tecnologia; separar essa lista em colunas coletivamente; cada coluna representa um aspecto. Finalizar mostrando o triângulo dos aspectos segundo Santos e Mortimer (2000). (Duração: cerca de 13 minutos)

Fonte: Elaboração própria.

No que tange à Problematização, as professoras apontaram a falta da centralidade no conteúdo científico, corroborando com o MLTP e indo de encontro à crítica que apresentamos a esse modelo. Tal crítica foi ancorada no enfoque CTS articulado com as visões da tecnologia e indo ao encontro do que foi relatado no estado da arte. Ao observarmos a construção do modelo de sociedade destacado na discussão do contexto da máquina a vapor (PEREIRA; LAMBACH, 2017) entendemos essa “necessidade” da centralidade CT apresentada pelas professoras, como por exemplo no trecho: “Na primeira análise senti uma pegada ambiental e uma pegada social, mas senti um pouco a falta da Física” (trecho da entrevista com Tiana). Como dito anteriormente, esse modelo de sociedade preconiza o crescimento econômico destacando a tecnologia como suficiente e responsável por tal crescimento e, por consequência, ocasionando o progresso social. A visão de tecnologia que pode ser reconhecida neste caso é o determinismo tecnológico. Desse modo, buscamos deixar demarcado o protagonismo CT na proposta de Denis, personagem do caso para estudo associado a essa visão de tecnologia:

- (e) Proposta inicial para o personagem Denis: É função das empresas de ônibus a busca por ônibus mais modernos, resultando na manutenção necessária a longo prazo e na melhoria do serviço prestado à população – proposta presente no caso para estudo antes da entrevista.
- (f) Reelaboração da proposta para o personagem Denis: Há um novo motor à combustão interna desenvolvido pela *LR Motors*, uma multinacional que está dominando esse mercado. A empresa de ônibus deve renovar a frota com ônibus dessa multinacional gerando a melhoria do serviço prestado à população – proposta presente no caso para estudo depois da entrevista.

No determinismo, o foco poderia estar no desenvolvimento de máquinas mais “eficientes”, pois esta melhoria da eficiência poderia gerar a melhoria no transporte público. Isso poderia ocasionar o aumento da frota e, conseqüentemente, o aumento do número de empregos gerando, assim, o progresso do grupo social. Desse modo, a proposta de Denis centra-se na tecnologia desenvolvida pela multinacional visando esse “crescimento linear” e conseqüente aprimoramento do transporte público.

Quanto aos Conteúdos e Conceitos presentes na SD, dois pontos foram perpassados nas entrevistas: (i) se tais conteúdos e conceitos forneceram elementos para a discussão do transporte público na modalidade ônibus; e (ii) se concordaram com a organização da SD. Novamente, parece ficar demarcada uma visão de sociedade pelas professoras na qual priorizam os currículos CTS com ênfase no conteúdo científico e nas práticas CT como aplicações do conteúdo científico (Quadro 8). Observamos que Tiana, Isabela e Ana associaram a pergunta a uma separação entre a Física, que se restringe ao conteúdo científico, e o restante da discussão desenvolvida na SD como, por exemplo, no excerto “Porque eu falei assim: cadê, meu Deus do céu, cadê a Física aqui?” (trecho da entrevista com Ana). É importante salientar que a SD elaborada tem por objetivo se enquadrar na frente curricular que apresenta ênfase no conteúdo CTS – ciências como conteúdo de CTS (Quadro 8).

Em relação à organização da SD, as professoras concordaram com a organização proposta para a SD. Por exemplo, Isabela apontou que

Pensando como professor, eu posso pegar o seu material e desenvolver um trabalho numa turma de segundo ano sobre primeira lei e vamos encarar conceitualmente e tal, vou partir disso daqui. Acho que o interessante de falar que estar bem estruturada é eu pegar assim e conseguir desenvolver e pelo que eu olhei assim, dá. Dá pra desenvolver. O que eu reparei, se eu quiser amanhã fazer tem como eu fazer com o que está escrito ali (trecho da entrevista com Isabela).

Quanto às Metodologias de Ensino e Avaliação, tratamos sobre (i) adequação aos objetivos; (ii) diversificação das atividades e recursos contribuindo para a ressignificação do transporte público na modalidade ônibus; e (iii) instrumentos de avaliação. As professoras concordaram com o que foi proposto. Sobre a diversificação de recursos, a professora Isabela afirmou que foram “Muito diversificadas¹⁹. Só uma aula lá você tem cinco textos” (trecho da entrevista com Isabela). Quanto ao processo de avaliação proposto, embora tenha concordado com ele, Isabela destaca que não é uma prática muito comum. Nesse sentido, ela afirmou que:

Eu vi muito assim, no final de cada aula uma avaliação. Avaliação eu acho que é uma questão. Eu tenho uma visão de avaliação: eu posso ser meio rigoroso e antiquado; talvez eu tenha que me desligar um pouco de avaliação tradicional. Mas o que eu vi lá está legal (trecho da entrevista com Isabela).

Parece que as professoras apresentam apenas uma concepção de avaliação somativa. No entanto, aparentam reconhecer a importância de trazer para as aulas outros instrumentos de avaliação, como apontou Tiana neste relato:

Essa avaliação argumentativa²⁰ que a gente escuta o pessoal falar é muito mais enriquecedora do que simplesmente dar conta para o menino fazer. Eu tive um professor de História no Ensino Médio, a avaliação dele, eu tenho vontade de implementar isso nas minhas aulas de Física. (...) O meu professor de História ele simplesmente, a prova dele era assim: comente sobre determinado assunto. Aí ali você falava o que você sabia. Ele não te avaliava pelo que ele queria que você soubesse, mas ele te avaliava por aquilo que você sabia. E ele via se aquilo que você sabia era suficiente ou não. Entendeu? Então, assim, essa parte onde a gente vai avaliar ouvindo o que o menino tem pra falar eu acho bem interessante. Bem... tem um retorno muito forte, sabe (trecho da entrevista com Tiana).

¹⁹ Considerando que a professora se referiu ao quantitativo de textos, compreendemos que ela tratava da diversidade de recursos e não de atividades como o substantivo feminino poderia indicar.

²⁰ Entendemos que a expressão foi erroneamente utilizada pela professora. Pelo sentido apreendido do trecho, interpretamos que ela se referia à avaliação formativa.

Portanto, como já descrito anteriormente, a percepção em relação às metodologias utilizadas por parte das professoras, pode revelar uma prática docente com centralidade na díade CT e na percepção que apresentam desta.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, tivemos por objetivo a elaboração de uma SD que apresenta a discussão entre as relações entre ciência, tecnologia e sociedade a partir do estudo da primeira lei da termodinâmica. Para tanto, buscamos inicialmente os materiais desenvolvidos no MNPEF, fazendo um recorte dentre as dissertações pelos trabalhos cuja esfera da prática científica foi desenvolvida a partir da metodologia do Ensino por Investigação. A partir deste estudo, percebemos duas lacunas: trabalhos que apresentassem o currículo com ênfase no conteúdo CTS (Quadro 8) e trabalhos que apresentassem a discussão sobre a PLT.

Para desenvolver o conteúdo CTS de maneira a manter o diálogo entre as esferas C-T-S realizamos a discussão acerca da percepção das práticas CT utilizando as visões da tecnologia (DAGNINO, 2010): com ênfase na díade CT como solução prática para as necessidades humanas (Instrumentalismo e Determinismo diferenciando-se no controle tecnológico); concordância com o MLTP (AULER, 2007) destacando uma preocupação com o “bem-estar” social (Substantivismo); e a crítica ao MLTP (Adequação Sociotécnica). Essa discussão foi desenvolvida ao longo da SD a partir dos aspectos da prática tecnológica (SANTOS; MORTIMER, 2002) no contexto da máquina térmica.

Adotamos o processo Elaboração-Aplicação-Reelaboração (GUIMARÃES; GIORDAN, 2013) como guia da SD, onde a elaboração constituiu a sua primeira etapa. A aplicação ocorreu por meio da validação por pares e aconteceu junto a quatro professoras da turma de Termodinâmica e Física Estatística do MNPEF do Polo 24 da UFJF/IFSudesteMG, semestre 2021.2. Este processo de validação por pares perpassou quatro dimensões de análise da SD (GUIMARÃES; GIORDAN, 2012). A partir de indicações das docentes, reelaboramos alguns elementos de aulas que compõem a SD.

Em particular, a partir da última etapa da validação por pares, composta por uma entrevista realizada com as professoras, destacamos os pontos apresentados a seguir:

- Metodologias: as professoras, em concordância com o levantamento do estado da arte, parecem desconhecer as metodologias utilizadas na SD e apresentaram dúvidas no entendimento de alguns aspectos presentes nos planos de aula;
- Ênfase na díade CT: As professoras evidenciaram uma preocupação com a centralidade da ciência na SD, à qual associamos a um reforço ao MLTP.

Neste sentido, houve a concordância com o estado da arte e o contexto da máquina a vapor discutido anteriormente;

- Aspectos da Prática Tecnológica: as professoras não identificaram os APT dentro da problemática desenvolvida no caso para estudo.

Os pontos destacados pelas professoras durante a entrevista parecem indicar uma lacuna na sua formação podendo protagonizar uma compreensão de uma ciência neutra, a qual resultaria em desenvolvimento tecnológico e este em desenvolvimento social. Desse modo, a reelaboração na SD se deu no contexto da díade CT presente na alternativa do caso para estudo que aponta para o determinismo tecnológico.

Os demais pontos foram abordados na organização do produto de tal forma que os professores pudessem melhor compreender e utilizar as metodologias e recursos presentes na SD. Em função deste aparente desconhecimento por parte das docentes, sugerimos que novos trabalhos sejam desenvolvidos no sentido de uma ampliação da formação correlacionada ao enfoque CTS. Ainda, vislumbramos a necessidade de que a SD seja utilizada em sala de aula, uma vez que tal utilização completaria o processo EAR e poderia colaborar com uma nova reelaboração.

Quanto a minha prática em sala de aula, todo o estudo realizado e o desenvolvimento da SD destacou a importância do coletivo. Um exemplo foi a proposta que fiz nas primeiras reuniões de orientação: a utilização de caixas de leite como isolamento térmico para residências em uma cidade na região Sul do Brasil. Uma solução imediata e individualista que mascara um problema socioeconômico. De forma semelhante, o filme “O menino que descobriu o vento”²¹ conta a história de um menino que se destacou por sua inteligência e modo de fazer diferente (do jeito que o capitalismo gosta!). O menino, que apesar de não ter eletricidade, condições básicas de saneamento, ter uma refeição apenas ao dia, buscou sozinho uma solução para sua situação e com isso recebeu o reconhecimento. Esse tipo de engrandecimento das desigualdades que devem ser vencidas sozinhas vai de encontro com o enfoque CTS. Dessa forma, não devemos ter uma sala de aula que é somente de um único professor, que busca atender diferentes realidades e lutar contra os problemas de infraestrutura de maneira solitária. Defendemos que o trabalho docente faz parte de um coletivo.

²¹ “Sempre esforçando-se para adquirir conhecimentos cada vez mais diversificados, um jovem de Malawi se cansa de assistir todos os colegas de seu vilarejo passando por dificuldades e começa a desenvolver uma inovadora turbina de vento.” ADOROCINEMA, Disponível em: <https://www.adorocinema.com/filmes/filme-259993/>. Acesso em 07mar.2023.

7. REFERÊNCIAS

AIKENHEAD G. S. (1996) Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science, **Studies in Science Education**, 27:1, 1-52, DOI: [10.1080/03057269608560077](https://doi.org/10.1080/03057269608560077)

AIKENHEAD, G.S. (1994) What is STS science teaching? *In*: Solomon, J. and Aikenhead, G.S. Ed., **STS Education In-ternational Perspectives on Reform**, Teacher's College Press, New York.

ALMEIDA, Maria Kamylla e Silva Xavier de. **Física Térmica com ênfases curriculares em CTSA e Ensino por Investigação**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Natal, jun. 2016.

ARCHANJO JUNIOR, M. G.; GEHLEN, S. T. A Tecnologia Social e sua Contribuição para a Educação em Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/18873/16755>. Acesso em 27 out. 2021.

AULER, D. Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência& Ensino**. V. 01, número especial, nov. 2007.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, v.7, n.1, p.1-13, 2001.

AZEVEDO, M.C.P.S. **Ensino por investigação**: Problematizando as atividades em sala de aula. *In*: CARVALHO, A.M.P. (org), Ensino de Ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning ,2004. p. 19-43.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Edições 70, ltda. Lisboa, Portugal. 1977.

BASSALO, J. M. F. **Crônicas da física**. Belém, Universidade Federal do Pará, 1991.GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2: Física térmica/ Óptica/ GREF**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

BORGES, A. T. Novos Rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291 - 313, 2002. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6607/6099>>. Acesso em 18 julho 2022.

BORGNACKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**, 8^a. ed. Tradução norte-americana. São Paulo: Blucher, 2013. ISBN 978-65-212-0792-4.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). **Parâmetros Nacionais Curriculares Ensino Médio**: bases legais. Brasília, DF: MEC, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN + Ensino Médio: orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais** – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, DF: MEC/Semtec, 2002.

BRITANNICA. Sadi Carnot: president of France. **Britannica: Encyclopædia Britannica**, 2022. ISSN 1085-9721 (versão online). Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Sadi-Carnot>. Acesso em: 5 jan. 2022.

CACHAPUZ, A. *et al.* Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: um requisito essencial para a renovação da educação científica. *In: A necessária renovação do ensino das ciências*. Antônio Cachapuz... [*et al.*], (organizadores) – 3 ed. – São Paulo: Cortez, 2011.

CACHUBA, A. M.; POSSEBOM, A. T. **Implementação de Diálogos Argumentativos em Sistemas Multiagentes**. 2019. Disponível em: https://gsigma.ufsc.br/wesaac2019/paper/WESAAC_2019_paper_25.pdf. Acesso em 28 dez. 2021.

CARDOSO, S. P. **Física das Radiações: um enfoque CTS para alunos do Ensino Médio da área industrial**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mestrado Profissional em Ensino de Física. Rio de Janeiro, abr. 2017.

CARNOT, S. Reflexões sobre o poder motriz do calor e sobre máquinas que servem para desenvolver esse poder. **e-Disciplinas USP**, 1825. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5091436/mod_resource/content/1/Carnot_1824.pdf. Acesso em: 5 jan. 2022.

CARVALHO, A. M. P. de. As práticas experimentais no ensino de Física. *In: CARVALHO, A. M.P.de (coord.). Ensino de física*. São Paulo: *Cengage Learning*, 2010, p. 53-77.

CARVALHO, A. M. P. de. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. *In: CARVALHO, A. M. P. de (org.). Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula*. São Paulo: *Cengage Learning*, 2013, p. 1-20.

CARVALHO, R. S.; FERRAREZI Jr., C. **Oralidade na educação básica: o que saber, como ensinar**. São Paulo: Parábola, 2018.

CAVALCANTE, R. B.; CALIXTO, P.; PINHEIRO, M. M. K. Análise de conteúdo: considerações gerais, relações com a pergunta de pesquisa, possibilidades e limitações do método. **Inf. & Soc.:Est.**, João Pessoa, v.24, n.1, p. 13-18, jan./abr. 2014. Disponível em <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/ies/article/view/10000/10871> Acesso em 17 de maio 2022.

CHRISPINO, A. **Introdução aos enfoques CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade – na educação e no ensino**. 1. ed. Brasília, DF: Ed. OEI-Organização dos Estados Ibero-americanos, 2017.

CLEMENTE Jr., S. dos S. Estudo de Caso x Casos para Estudo: Esclarecimentos acerca de suas características e utilização. **Anais do VII Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul**. 16 e 17 de nov. de 2012, p. 1-12.

CUNHA, A. S. **Levitando com a Física**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mestrado Profissional em Ensino de Física. Rio de Janeiro, jan. 2018.

CUNHA, L. M. A. **Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes**. Dissertação (Mestrado em Probabilidades e Estatística). Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Estatística e Investigação Operacional, 2007.

DAGNINO, R. “Ciência e tecnologia para a cidadania” ou Adequação Sociotécnica com o Povo? *IN: Tecnologia Social: contribuições conceituais e metodológicas*. Renato Dagnino (Org.) Campina Grande, PB: EDUEPB; Florianópolis, SC: Ed. Insular, 2014.

DAGNINO, R. A anomalia da política de ciência e tecnologia. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**. V. 29, N. 86, out. 2014, p. 45-158.

DAGNINO, R. As Trajetórias dos Estudos sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade e da Política Científica e Tecnológica na Ibero-América. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**. V. 1, N. 2, jul. de 2008, p. 3-36.

DAGNINO, R. P. Enfoques sobre a relação ciência, tecnologia e sociedade: neutralidade e determinismo. *DataGramZero*, v. 3, n. 6, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/5429>. Acesso em: 01 nov. 2021.

DAGNINO, R. **Tecnociência Solidária: um manual estratégico**. Marília: Lutas Anticapital, 2020.

DAGNINO, R. Um dilema latino-americano: ciência e tecnologia para a sociedade ou adequação sócio-técnica com o povo? *In: Estudos sociais da ciência e tecnologia e política de ciência e tecnologia: abordagens alternativas para uma nova América Latina*. Renato Dagnino (org.). Campina Grande: EDUEPB, 2010, p. 265-292.

DAGNINO, R.; BRANDÃO, F. C.; NOVAES, H. T. Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social. *In: Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.

DAGNINO, R.; SILVA, R. B. da; PADOVANNI, N. Por que a educação em ciência, tecnologia e sociedade vem andando devagar? *In: CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas*. SANTOS, W. L. P. dos; AULER, D. (org.). Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011, p. 99-134.

DELIZOICOV, D.; AULER, D. Ciência, Tecnologia e Formação Social do Espaço: questões sobre a não-neutralidade. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciências e Tecnologia**. V. 4, N. 2, nov. de 2011, p. 247-273.

DOCUMENTARIOSBM, Gigantes da Indústria. Paris, França: *Dailymotion*, 29 jul. 2013. Disponível em: <https://www.dailymotion.com/video/x12fq8c>. Acesso em 18 out. 2021.

FERNANDES, S. S. **Uma proposta de atividades investigativas envolvendo sistema métrico.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mestrado Profissional em Ensino de Física. Rio de Janeiro, fev. 2012.

FEYNMAN, R. P. **Lições de física de Feynman.** Tradução de Adriana Válio Roque da Silva e Kaline Rabelo Coutinho. Porto Alegre: Bookman, 2008. ISBN 978-85-7780-321-7. Obra originalmente publicada sob o título "The Feynman Lectures on Physics: The Definitive and Extended Edition, 2nd Edition" (ISBN 0-8053-9045-6).

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa.** 57 ed. – Rio de Janeiro/São Paulo: Paz e Terra, 2018.

GIACOMINI, A.; MUENCHEN, C. Os três momentos pedagógicos como organizadores de um processo formativo: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, V.15, N.2, 2015, p. 339-355.

GLOBOPLAY. Preço da passagem de ônibus aumenta em Vila Velha, ES. **Globoplay**, 13 mar. 2017. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/5721634/?s=0s>. Acesso em: 26 jul. 2021.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Elementos para Validação de Sequências Didáticas. **IX ENPEC**, Águas de Lindóia, SP, 10 a 14 nov. 2013.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2012.

GUMIERI, R. K. Primeira lei da termodinâmica – aula 4. **Youtube**, 29 set. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AlQKCYkifN4>

GUMIERI, R. K.; OLIVEIRA, E. J. R. de. Enfoque CTS e ensino por investigação: diálogo com os trabalhos produzidos no Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física. **XX Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino**. Rio de Janeiro, 14 a 17 de jul. de 2020.

GUMIERI, R. K.; OLIVEIRA, E. J. R. de. Enfoque CTS e Ensino por Investigaçã: diálogo com os trabalhos produzidos no Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física. In: CRUZ, G. B. da; VASCONCELLOS, M.; AZEVEDO, P. B. de (org.). **Didática(s) entre diálogos, insurgências e políticas: tensões e perspectivas na relação com a formação docente.** 1. ed. Rio de Janeiro/Petrópolis: Faperj; CNPq; Capes; Endipe, 2020, p. 4279 - 4285.

GUMIERI, R. K.; OLIVEIRA, S. S. de. Ensino por Investigação utilizado para revisar e introduzir conteúdos de Física: uma comparação entre essas duas abordagens. **2º Encontro de Ensino de Ciências por Investigação**. Belo Horizonte, 14 e 16 de out. de 2020.

HERON DE ALEXANDRIA. **The Pneumatics of Hero of Alexandria:** From the original Greek. Tradução de Bennet Woodcroft. 1ª. ed. Londres: Taylor, Walton and Maberly, 1851.

- HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. Tradução de Trieste Freire Ricci. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. ISBN 978-85-8260-341-3. Revisão técnica: Maria Helena Gravina. Obra originalmente publicada sob o título "Conceptual Physics". ISBN: 9780321909107.
- HOBSBAWM, E. J. E. **A Era das Revoluções: 1789-1848**. Tradução de Maria Tereza Lopes Teixeira e Marcos Penchel. 15^a. ed. São Paulo: Paz & Terra, 2012. ISBN 978-8577530991 (ISBN-13); 857753099X (ISBN-10).
- HOHENFELD, D. P. **A natureza quântica da luz nos laboratórios didáticos convencionais e computacionais no Ensino Médio**. Salvador: UFBA, 2013. 146 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana. Instituto de Física: Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, BA-Brasil, 2013.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009. 1986 p. ISBN 9788573029635.
- LIMA, C. M. A. de O. Informações sobre o novo Coronavírus (COVID-19). **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 53, n. 2, mar./abr., 2020.
- MANAVELLA, H. J. **Capítulo 3: Combustão e Emissões**, 2012, p. 12-22. Disponível em: <http://www.hmautotron.eng.br/zip/c03-emiss-proccombust.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2022.
- MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, Junho 2002. ISSN 1806-1117 (versão impressa).
- MENINI, D. P. M.; PROCÓPIO, A. S. *In*: Congresso Nacional do Meio Ambiente, 17, 2020, Poços de Caldas. **Estimativa de emissões atmosféricas por veículos automotores em um centro urbano**. ISSN *on-line* N° 2317-9686, V. 12, N. 1, 2020.
- MINAS, RecordTV. Empresários do setor de transporte público pedem ajuda aos Governos. **Youtube**, 16 jun. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=slkCFrlgHxQ>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, jan. | jun. 2014, p. 32-46.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4^a edição revisada. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 2, 2002. ISBN 85-212-0299-7.
- OLIVEIRA, E. J. R. de. **A natureza do calor: uma prática experimental para o Ensino de Física no PROEJA**. Notas de aula. Instituto Federal do Espírito Santo. 2018 (Mimeografado).
- OLIVEIRA, E. J. R. de; SILVA, A. A. da; GUMIERI, R. K. A centralidade dos conteúdos de CTS nos mestrados profissionais: uma análise de sequências didáticas nos produtos educacionais. **XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Caldas Novas, Goiás, 2021.

OLIVEIRA, M. B. de. Neutralidade da ciência, desencantamento do mundo e controle da natureza. **Scientiae Studia**. V. 6, N. 1, 2008, p. 97-116.

PEDROSO, M. A. As contribuições da articulação entre o Ensino por Investigação e o enfoque CTS para o desenvolvimento de conceitos de Física Moderna no Ensino Médio. Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física. Vitória, 2017.

PEREIRA, F. G. **Avaliação formativa sobre energia**: uma proposta de sequência didática utilizando o aplicativo *Plickers*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora 2021.

PEREIRA, S. T.; LAMBACH, M. A revolução e a influência do valor do controle da natureza no desenvolvimento da termodinâmica. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 3 a 6 de jul. de 2017, p. 1-8.

PÉREZ, D. G.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, 2001, p. 125-153.

PIRES, D. P. L.; AFONSO, J. C.; CHAVES, F. A. B. Do termoscópio ao termômetro digital: quatro séculos de termometria. **Quim. Nova**, v. 29, n. 6, 2006, p. 1393-1400.

PLICKERS. **Plickers**, 2019. Disponível em: <https://www.plickers.com/>.

PORTO, S. C. C.; AMANTES, A.; HOHENFELD, D. P. O que se aprende sobre Pêndulo Simples em Atividades Investigativas nos Laboratórios Material e Computacional? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Londrina, v. 19, p. 825-858, jan. 2020. ISSN 1806-5104 (versão impressa).

QUEIRÓS, W. P.; NARDI, R.; DELIZOICOV, D. A produção técnico-científica de James Prescott Joule: uma leitura a partir da epistemologia de Ludwik Fleck. **Investigações em Ensino de Ciências**. V. 19(1), 2014, p. 99-116.

QUEIROZ, S. L.; CABRAL, P. F. O. (Org.). **Estudos de caso no ensino de ciências naturais**. São Paulo: Art Point, 2016.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. D. T. **Os fundamentos da Física**: Termologia, Óptica; Ondas. 9ª. ed. São Paulo: Moderna, v. 2, 2007. ISBN 978-85-16-05657-5 (LA); 978-85-16-05658-2 (LP).

RODRIGUES, C. F. M. **Irreversibilidade e degradação da energia numa abordagem para o Ensino Médio**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mestrado Profissional em Ensino de Física. Rio de Janeiro, jan. 2014.

ROSO, C. C. Tomada de decisões em Ciência-Tecnologia-Sociedade: análise na educação em ciências. **IX ANPED SUL, Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul**, 2012. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/paper/viewFile/622/261> Acesso em 27 out. 2021.

ROSO, C. C.; AULER, D. A participação na construção do currículo: práticas educativas vinculadas ao movimento CTS. **Ciênc. Educ.**, Bauru, V. 22, N. 2, p. 371-389, 2016.

ROSO, C. C.; AULER, D. O Papel do Técnico para a Democratização em Processos Decisórios: horizontes para as repercussões educacionais do movimento CTS. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Águas de Lindóia, SP, 10 a 14 de nov. de 2013, p. 1-8.

ROSO, C. C.; AULER, D.; DELIZOICOV, D. Democratização em Processos Decisórios sobre CT: O Papel do Técnico. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 13, n. 1, p. 225-249, mai. 2020.

RUBINO, L. N. **A Física envolvida no fenômeno do efeito estufa – uma abordagem CTS para o Ensino Médio**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mestrado Profissional em Ensino de Física. Rio de Janeiro, dez. 2010.

SANTOS, R. A.; AULER, D. Práticas educativas CTS: busca de uma participação social para além da avaliação de impactos da Ciência-Tecnologia na Sociedade. **Ciênc. Educ.**, Bauru, V. 25, N. 2, p. 485-503, 2019.

SANTOS, R. A.; AULER, D. Práticas educativas CTS: busca de uma participação social para além da avaliação de impactos da Ciência-Tecnologia na Sociedade. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 25, n. 2, p. 485-503, 2019.

SANTOS, W. L. P. **Aspectos sócio-científicos em aulas de química**. Tese (doutorado em educação). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

SANTOS, W. L. P. dos. Educação Científica Humanística em Uma Perspectiva Freireana: Resgatando a Função do Ensino de CTS. **Alexandria Revista de Educação em Ciências e Tecnologia**, v. 1, n. 1, 2008, p. 109-131.

SANTOS, W. L. P. dos. Significados da educação científica com enfoque CTS. *In: CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas*. SANTOS, W. L. P. dos; AULER, D. (org.). Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011, p. 21-47.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) o contexto da educação brasileira. **ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 110-132, jul-dez 2000.

SANTOS, W. L. P. **O Ensino de Química para Formar o Cidadão: Principais Características e Condições para a sua Implantação na Escola Secundária Brasileira**. Campinas:UNICAMP. 1992. Dissertação (Mestrado em Educação), Faculdade de Educação, Universidade de Campinas, 1992.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, V. 16(1), p. 59-77, 2011.

SCHEIDER, T. M.; PANIZ, C. M.; MAGOGA, T. F.; FERREIRA, M. V.; MUENCHEN, C. **Os Três Momentos Pedagógicos e a Abordagem Temática na Educação em Ciências**: um olhar para as diferentes perspectivas. *Ensino & Pesquisa*, V.16, N.1, 2018, p. 150-172.

SELEGHIM, P. T9: Ciclos motores a gás: Otto, Diesel e Brayton. **Youtube**, 3 jun. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WEpDvjv26kc&t=607s>. Acesso em: 9 mai. 2022.

SEVCENKO, Nicolau. O front brasileiro na guerra verde: vegetais, colonialismo e cultura. **Revista da USP**, São Paulo, nº 30, jun./ago. 2006, p. 108-119.

SEVERO, T. E. A.; ALMEIDA, M. da C. de; REIS, M. K. S.; SOUZA, L. G. S. de. **Argumentação como operador cognitivo**: racionalidade aberta e ensino de ciências. XI Congresso Nacional de Educação EDUCERE, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 23 a 26 set. 2013, p. 5763-5775.

SHIMIZU, A. M.; MENIN, M. S. S. Representações sociais de lei, justiça e injustiça: uma pesquisa com jovens argentinos e brasileiros utilizando a técnica de evocação livre de palavras. **Estudos de Psicologia**, v. 9, n. 2, p. 239-247, 2004.

SILVA, E. B. L. **Estudo sobre a qualidade do ar na cidade de Juiz de Fora**: Contribuição dos veículos automotores. 2008. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, 2008.

SILVA, E. L. da; MARCONDES, M. E. R. Materiais didáticos elaborados por professores de química na perspectiva CTS: uma análise das unidades produzidas e das reflexões dos autores. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 1, 2015, p. 65-83.

SILVA, R. M.; GEHLEN, S. T.; MATTOS, C. R. A Abordagem Temática Freireana sob o olhar da Teoria da Atividade. **Anais XI ENPEC** (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências). Florianópolis, SC. 2017. Disponível em <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R2470-1.pdf>. Acesso em 26 out. 2021.

SRINIVASAN, J. Sadi Carnot and the Second Law of Thermodynamics. **Ressonance: Journal of Science Education**, Bengaluru, p. 42-48, Novembro 2001. ISSN 0971-8044 (versão impressa); 0973-712X (versão online). Disponível em: <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/006/11/0042-0048>. Acesso em: 5 jan. 2022.

STRIEDER, R. B. **Abordagens CTS na educação científica**: sentidos e perspectivas. Tese (Doutorado em Ensino de Física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

STRIEDER, R. B.; KAWAMURA, M. R. D. Educação CTS: Parâmetros e Propósitos Brasileiros. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciências e Tecnologia**, Florianópolis, v. 10, n. 1, 2017, p. 27-56.

SZYMANSKI, H. (org.) **A entrevista na pesquisa em educação: a prática reflexiva**. 5. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2018.

TAHA, M. S.; LOPES, C. S. C.; SOARES, E. de L.; FOLMER, V. Experimentação como ferramenta pedagógica para o Ensino de Ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, V.11, N. 1, 2016. Disponível em: http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID305/v11_n1_a2016.pdf. Acesso em 19 dez. 2019.

TERMODINÂMICAUFF. Aula 1.3 - Termômetros, dilatação, escalas Celsius e Kelvin, lei dos gases ideais. **Youtube**, 15 jun. 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2HZcDf6c7Z4&t=244s>. Acesso em: 9 mai. 2022.

TERMODINÂMICAUFF. Aula 14.1 – Descrição esquemática de uma máquina térmica. **Youtube**, 20 nov. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6Tj68AKvwnM&list=PLJHqUYUf9Yor6gobKCHikUFdQhIv4OAou>. Acesso em: 26 mai. 2022.

TERMODINÂMICAUFF. Aula 2.1 – Calor e trabalho: processos de troca de energia. **Youtube**, 21 jul. 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qsUjJZg77GE&list=PLJHqUYUf9YoopjoVLiuc1jj3YSiT9yzpl>. Acesso em: 9 mai. 2022.

TERMODINÂMICAUFF. Aula 2.2 - Trabalho de compressão em fluidos. **Youtube**, 4 ago. 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2HZcDf6c7Z4&t=244s>. Acesso em: 9 mai. 2022.

TIPLER, P. A; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. Tradução e revisão técnica Paulo Machado Mors, vol. 1 (Reimpr.), Rio de Janeiro: LTC, 2010.

TRIVELATO, S. F.; SILVA, R. L. F. Aulas práticas e a possibilidade de enculturação científica. In: CARVALHO, A. M. P. de (coord.). **Ensino de Ciências**. São Paulo: Cengage Learning, 2016, p. 71-92.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. Comissão de pós-graduação do Mestrado Nacional em Ensino de Física (CPG). **Resolução nº1/2020, 03 jun. 2020**. Disponível em: <https://www.ufjf.br/profis/inicial/covid2/#:~:text=RESOLU%C3%87%C3%83O%20N%C2%BA%2001%202020%20COVID19,da%20pandemia%20da%20COVID%2D19.&text=preven%C3%A7%C3%A3o%20do%20cont%C3%A1gio%20pelo%20novo%20coronav%C3%ADrus%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAncias>. Acesso em 16 nov. 2020.

VAMOS APITAR. Auto Esporte – Combustível. **Youtube**, 4 nov. 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=mcri-P_zQAg. Acesso em: 26 jul. 2021.

VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Rev. Diálogo Educ.**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-189, jan./abr. 2014. Disponível em <https://www.redalyc.org/pdf/1891/189130424009.pdf>. Acesso em 10 ago. 2022.

ANEXO 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Prezado(a) professor(a), este convite é referente à participação na pesquisa "O estudo da 1ª. lei da termodinâmica no contexto da temática do transporte público na modalidade ônibus: uma proposta de Sequência Didática na concepção Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS)", sob a responsabilidade do professor Dr. Emanuel José Reis de Oliveira e da professora Renata Kaiser Gumieri. O objetivo geral do trabalho é avaliar a potencialidade de uma proposta de sequência didática sobre o ensino da primeira lei da termodinâmica na concepção de Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS). Para esta pesquisa adotaremos os seguintes procedimentos: (a) diagnóstico do perfil de formação e de trabalho dos(as) professores(as), (b) questionário online sobre aspectos da proposta didático-metodológica, (c) grupo focal de aprofundamento sobre aspectos da proposta didático-metodológica (convite a posteriori para reunião em data e horário a ser agendada com os professores convidados). Participar dessa pesquisa não representará quaisquer riscos significativos a você, além da expressão da sua opinião na realização dos procedimentos descritos. Isto é, os riscos envolvidos na pesquisa são mínimos e estão relacionados à confidencialidade dos dados. Todas as informações obtidas serão sigilosas e seu nome não será identificado em qualquer momento. Você não terá benefícios pessoais diretos ao participar da pesquisa. Os pesquisadores não terão qualquer benefício pessoal e/ou financeiro com esta pesquisa, exceto a produção acadêmica dela decorrente. Os materiais e recursos didático-metodológicos que compõem a sequência didática a ser avaliada não poderão ser divulgados por quaisquer meios, seja para uso pessoal e/ou para fins comerciais (Lei nº 9.610/1998). Não estamos prevendo que você venha a ter quaisquer despesas ou danos em decorrência de sua participação na pesquisa, apenas o investimento de parte de seu tempo. Durante todo o período da pesquisa você poderá tirar suas dúvidas através dos e-mails emanuel@ifes.edu.br e gumieri.kaiser@gmail.com. A qualquer momento você poderá desistir de participar da pesquisa. Os resultados estarão à sua disposição quando essa pesquisa estiver finalizada. Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com os pesquisadores responsáveis, por um período de 5 (cinco) anos e após esse tempo serão destruídos.

ANEXO 2: QUESTIONÁRIO DE PERFIL

1. Qual a sua formação inicial?
2. Cursou (formação inicial) em que instituição?
3. Há quanto tempo terminou a formação inicial?
4. Há quanto tempo leciona?
5. Em qual(ais) escola(s) leciona?
6. Em quais turmas trabalha, considerando o Ensino Médio Regular e a Educação de Jovens e Adultos?
7. É comum lecionar para uma mesma turma durante todo o processo (1, 2 e 3 anos)?
8. Faz algum curso de formação continuada anterior ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)?
9. Qual o nível do curso?
10. Qual foi o tema/assunto do(s) curso(s) realizado(s)?
11. Em qual(ais) instituição(ões) realizou a(s) formação(ões) continuada(s)?
12. Você conhece o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS)?
13. Já desenvolveu alguma atividade CTS na(s) escola(s) em que leciona? Se sim, sobre qual(ais) tema(s)?
14. Você já fez alguma formação sobre enfoque CTS?
15. Qual o nível do curso?
16. Em qual(ais) instituição(ões)?

ANEXO 3: QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO

Estrutura e Organização: Esta seção é composta por 9 questões (8 obrigatórias e 1 opcional). Ela tem como objetivo avaliar aspectos de apresentação da SD, visando observar os elementos organizacionais, de redação, clareza linguística e a componente temporal.

1. Considero a sequência didática (SD) original.
 - a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
2. Conheço outras propostas parecidas.
 - a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
3. A SD promove/desperta o interesse dos estudantes.
 - a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
4. Os conteúdos abordados na SD compõem o currículo de Física do Ensino Médio.
 - a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
5. Os conteúdos abordados na SD condizem com o público proposto.
 - a. Discordo totalmente
 - b. Discordo

- c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
6. Os planos de aula possuem uma redação clara e direta, ou seja, contém explicações necessárias para o seu entendimento pelos professores.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
7. Para o professor, as explicações são suficientes para o entendimento das atividades que serão realizadas na sala de aula.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
8. O tempo destinado às atividades propostas nas aulas é suficiente.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
9. Além das questões apresentadas, você tem outros comentários sobre os aspectos relacionados à estrutura e organização da SD?

Problematização: Esta seção é composta por 12 questões (11 obrigatórias e 1 opcional). Ela tem por objetivo avaliar a abrangência do problema proposto, sua relação com o cotidiano dos estudantes e a articulação entre os conteúdos abordados e o problema formulado.

10. Considero a temática transporte público na modalidade ônibus atual.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo

- e. Concordo totalmente
11. A formulação do problema através deste caso fictício para estudo está de acordo com a temática transporte público na modalidade ônibus desenvolvida ao longo da SD.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
12. Considero que a problemática abordada na SD se restringe à apresentação inicial a título de motivação.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
13. A problemática, conforme apresentada, fornece elementos para análise de situações sociais sob a perspectiva científica.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
14. Os problemas apresentados fazem parte da realidade social e/ou do cotidiano vivencial dos estudantes.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
15. A problemática estabelece a relação entre a ciência, a tecnologia e as implicações sociais do tema.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo

- c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
16. Os aspectos centrais da prática tecnológica (organizacional, cultural e técnico) apresentam relação com a problemática.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
17. A compreensão de tais aspectos pode estabelecer a construção de propostas para possíveis soluções do problema.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
18. Considero que a escolha do caso fictício para estudo para a formulação do problema aproxima-se da vivência do estudante.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
19. As alternativas referentes ao caso fictício se relacionam aos aspectos centrais da prática tecnológica, trazendo consigo conteúdos científicos. O estudo desenvolvido relacionando possibilidades para a solução a partir do caso fictício para o estudo contribui (ou pode contribuir) para práticas sociais baseadas em conhecimentos científicos.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente

20. Além das questões apresentadas, você tem outros comentários sobre os aspectos relacionados à problematização da SD?

Conteúdos e Conceitos: Esta seção é composta por 14 questões (13 obrigatórias e 1 opcional). Esta seção tem por objetivo avaliar a abrangência dos conteúdos e conceitos abordados contribuem para que se alcancem os objetivos educacionais propostos, englobando as capacidades cognitivas e também as demais capacidades.

21. Os objetivos são informados.

- a. Discordo totalmente
- b. Discordo
- c. Indeciso
- d. Concordo
- e. Concordo totalmente

22. Os objetivos se vinculam com a problemática e os conceitos apresentados.

- a. Discordo totalmente
- b. Discordo
- c. Indeciso
- d. Concordo
- e. Concordo totalmente

23. Os objetivos estão direcionados à aprendizagem dos conteúdos e conceitos do enfoque CTS propostos.

- a. Discordo totalmente
- b. Discordo
- c. Indeciso
- d. Concordo
- e. Concordo totalmente

24. As atividades são necessárias para que se alcancem os objetivos elencados.

- a. Discordo totalmente
- b. Discordo
- c. Indeciso
- d. Concordo
- e. Concordo totalmente

25. As atividades estão em quantidade suficiente para que se alcancem os objetivos elencados.

- a. Discordo totalmente

- b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
26. Os conteúdos propostos são necessários para que se alcancem os objetivos elencados.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
27. Os conteúdos propostos estão em quantidade suficiente para que se alcancem os objetivos elencados.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
28. O caso fictício para estudo abordando os aspectos centrais e visões da tecnologia podem promover o desenvolvimento do conteúdo científico.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
29. O conteúdo científico contido no caso para estudo é um potencial agente para a solução da problemática social.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
30. Os conteúdos são encadeados de forma lógica e gradativa, ou seja, há algum tipo de conexão entre as aulas.

- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
31. A quantidade de conteúdos a serem desenvolvidos é condizente com o número de aulas da SD.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
32. Os conceitos desenvolvidos pela SD fornecem elementos para a discussão do fenômeno inicialmente proposto.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
33. Faz sentido trabalhar o tema “transporte público na modalidade ônibus” segundo a organização apresentada pela SD.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
34. Além das questões apresentadas, você tem outros comentários sobre os aspectos relacionados aos conteúdos e conceitos abordados na SD?

Metodologias de ensino e Avaliação: Esta seção é composta por 13 questões (12 obrigatórias e 1 opcional). Ela tem por objetivo avaliar se as metodologias utilizadas podem promover a aprendizagem dos estudantes e conseqüentemente se os objetivos da SD podem ser alcançados.

35. As metodologias são adequadas aos objetivos da SD.
- a. Discordo totalmente

- b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
36. As estratégias são diversificadas.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
37. Considero que os recursos didático-metodológicos adotados na SD podem contribuir para a ressignificação do problema inicial.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
38. As atividades propostas e desenvolvidas ao longo da SD podem levar ao desenvolvimento de soluções do problema.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
39. As atividades propostas são apresentadas de forma que os estudantes as compreendam.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
40. As atividades propostas para o ensino dos conteúdos apresentam conexões entre si ao longo da SD.
- a. Discordo totalmente

- b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
41. As atividades propostas para o ensino dos conteúdos apresentam conexões com o caso fictício para estudo.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
42. As atividades avaliativas estão distribuídas ao longo de toda a SD.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
43. Os métodos de avaliação estão condizentes com os objetivos propostos ao longo da SD.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
44. As atividades avaliativas propostas estão relacionadas com os objetivos das aulas.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
45. Os instrumentos (por exemplo, resolução individual de exercício, atividade oral ou escrita em grupos etc.) utilizados para as avaliações são suficientes para avaliar a aprendizagem dos estudantes.

- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
46. As avaliações podem levar à identificação das dificuldades enfrentadas pelos estudantes, indicando possíveis atitudes a serem tomadas pelo professor.
- a. Discordo totalmente
 - b. Discordo
 - c. Indeciso
 - d. Concordo
 - e. Concordo totalmente
47. Além das questões apresentadas, você tem outros comentários sobre os aspectos relacionados às metodologias de ensino e avaliação da SD?

ANEXO 4: PERGUNTAS DA ENTREVISTA

- Estrutura e Organização da SD

1. A SD é original? Você conhece alguma proposta parecida? Se sim, de onde?
2. Sobre a leitura dos planos de aula, as informações passadas são claras e suficientes ao professor? Considera necessário mais informações? Quais?
3. As atividades propostas nas aulas apresentam tempo suficiente para serem realizadas? Quais mudanças sugere? Se não, sugere mais aulas?

- Problematização

4. Você entende que os aspectos centrais (organizacional, cultural e técnico) se relacionam com as visões da tecnologia? E estes estão presentes no caso? Como ou por quê?
5. Faria alguma alteração no caso?

- Conteúdos e Conceitos

6. Os conteúdos e conceitos desenvolvidos pela SD fornecem elementos para a discussão do transporte público inicialmente proposto?
7. Você concorda com a organização da SD para trabalhar o tema proposto? Que modificações faria?

- Metodologias de ensino e Avaliação

8. Considera que as metodologias utilizadas são adequadas aos objetivos? Por quê?
9. As atividades são diversificadas? Os recursos que foram usados contribuem para a ressignificação do problema (transporte público)? Sugere outros recursos?
10. Os instrumentos de avaliação propostos são adequados? Propõe outros instrumentos de avaliação?

ANEXO 5: PRODUTO EDUCACIONAL

Caro(a) professor(a),

Neste material apresentamos a Sequência Didática (SD) como produto educacional que desenvolvemos com o objetivo de discutir as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) a partir do estudo da Primeira Lei da Termodinâmica (PLT), o que perpassou pelo diálogo entre os Aspectos da Prática Tecnológica (APT) (SANTOS; MORTIMER, 2002) e as visões da tecnologia (DAGNINO, 2010). Para tanto, partimos do pressuposto de que os estudantes já haviam estudado os conceitos de trabalho, calor, gás ideal e equação geral dos gases ideais.

Os objetivos específicos de nossa SD foram:

1. Identificar os aspectos da tecnologia (cultural, organizacional e técnico) na discussão sobre o meio de transporte coletivo ônibus;
2. Definir o conceito de energia interna;
3. Enunciar a primeira lei da termodinâmica;
4. Ilustrar o uso da primeira lei da termodinâmica no funcionamento do motor de combustão interna (ciclo Otto);
5. Examinar a compreensão dos aspectos da tecnologia frente ao desenvolvido ao longo da sequência didática;
6. Enunciar as visões de tecnologia.

A seguir apresentamos uma visão geral da SD, Quadro 22.

Quadro 22: Visão geral da SD.

Aulas	Objetivo	Atividade/Metodologia	Recursos
Aula 1	Diagnosticar o entendimento dos estudantes sobre os aspectos da tecnologia associados à palavra “ônibus”	Associação livre de palavras	Papel e material para escrever
	Diagnosticar as visões dos estudantes sobre tecnologia	Leitura do caso para estudo e resposta à questão proposta	Material impresso contendo o caso para estudo e as questões
Aula 2	Identificar os três aspectos da tecnologia	Diálogo argumentativo	Vídeos que abordam os três aspectos da tecnologia
Aula 3	Diagnosticar os conceitos de calor, trabalho e gás ideal	Avaliação formativa	Aplicativo <i>Plickers</i>
	Introduzir o conceito de energia interna	Ensino por investigação	Simulador do <i>PHET</i>
Aula 4	Enunciar a PLT	Aula expositiva dialogada	Vídeo do funcionamento de um motor de combustão interna real (ciclo Otto)
		Avaliação formativa	Aplicativo <i>Plickers</i>
Aula 5	Relacionar a PLT e a poluição veicular	Retomada do problema pelo professor	Nuvem de palavras elaborada a partir da associação livre de palavras (Aula 1)
		Diálogo argumentativo	Cinco textos distintos que abordam a poluição veicular.
Aula 6	Diagnosticar as visões dos estudantes sobre tecnologia	Leitura do caso para estudo e resposta à questão proposta	Material impresso contendo o caso para estudo e as questões
Aula 7	Sistematizar os conhecimentos socio científicos	Aula expositiva dialogada	Quadro e giz

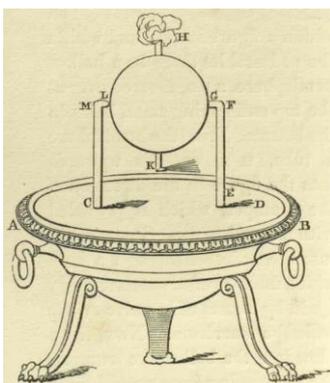
Fonte: Elaboração própria.

1 MÁQUINAS TÉRMICAS

Cronologicamente, os primeiros tipos de máquinas térmicas a surgirem foram os motores a vapor. Sua utilização em larga escala se deu na segunda metade do século XVIII na Inglaterra. O emprego massivo dessas máquinas foi tão expressivo que esse período ficou conhecido na História como Revolução Industrial, pois através dela iniciou-se o desenvolvimento das indústrias e a consolidação do capitalismo como regime socioeconômico. Essa guinada repentina econômica está diretamente, mas não exclusivamente, ligada a utilização acentuada de máquinas térmicas que foram aperfeiçoadas por James Watt em 1765.

Todavia, a utilização da energia térmica como força motriz não teve início na Inglaterra do século XVIII; ela remonta à Grécia do século I AD²², com Heron de Alexandria. Entre seus mais diversos inventos, aquele que possivelmente tenha sido o primeiro dessa natureza foi a eolípila, registrada como máquina número 50 – a máquina a vapor²³ (HERON DE ALEXANDRIA, 1851). Seu funcionamento é relativamente simples: a água contida numa bacia era aquecida pela queima de algum material; ligados a essa bacia havia dois tubos que a conectavam a uma esfera oca que pudesse girar e possuía outros dois tubos abertos; isso fazia com que o vapor d'água aquecido fosse conduzido para o meio externo fazendo a esfera rodar.

Figura 16: Eolípila – máquina número 50, a máquina a vapor de Heron.



Fonte: Heron de Alexandria (1851, p. 72)

A seguir apresentamos o Ciclo Otto e a primeira lei da termodinâmica (PLT).

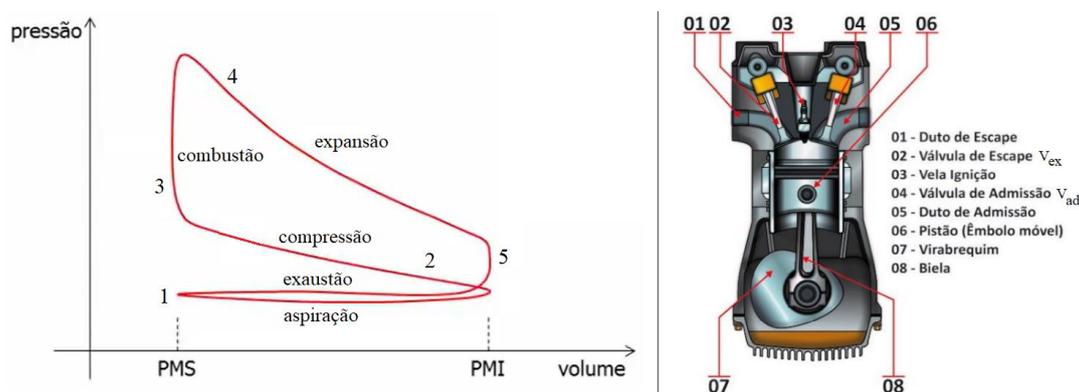
²² AD é a sigla de *Anno Domini*, que significa ano do Senhor.

²³ Tradução nossa de Heron de Alexandria (1851, p. 72).

1.1 CICLO OTTO

A crescente demanda por processos melhores de transformação de energia térmica em energia mecânica e as novas descobertas no campo da Ciência acerca de combustíveis e resistência de materiais, tornaram o terreno profícuo para o desenvolvimento de motores de combustão interna. Essas máquinas operam executando procedimentos que se repetem para transformarem a energia química do combustível a ser queimado em energia mecânica. Esse conjunto de ações que se repetem, fazendo a máquina voltar ao estado inicial, recebe o nome de ciclo (NUSSENZVEIG, 2002). Os motores de combustão interna executam esse ciclo podendo ser dividido em (i) duas etapas, os chamados motores de 2 tempos; e (ii) quatro etapas, no caso dos chamamos motores de 4 tempos. Neste trabalho, dedicaremos nossa atenção aos motores de quatro tempos para o estudo da PLT considerando as etapas do ciclo Otto²⁴, representadas na Figura 17, sendo: (1) aspiração; (2) compressão; (3) combustão; (4) expansão; (5) exaustão.

Figura 17: Etapas do ciclo Otto.



Fonte: Adaptado a partir de Selegim (2015).

Na etapa da aspiração (1) a válvula de admissão (V_{ad}) é aberta ($V_{ad} = 1$) e a válvula de exaustão (V_{ex}) está fechada ($V_{ex} = 0$) e há a entrada de ar, sendo a pressão mantida constante e um pouco menor que a pressão atmosférica. Em seguida, $V_{ad} = 0$, inicia-se a etapa da compressão (2). O processo da compressão é adiabático, ou seja, não há transferência de energia térmica para o meio externo por calor; há a redução do volume ocupado pela mistura e aumento da pressão sobre a mistura. Ainda na compressão, podemos observar que o pistão irá subir, isto é, há a realização de trabalho do pistão sobre

²⁴ Embora o motor a diesel também opere com 4 tempos, os mesmos descritos acima, seu ciclo de funcionamento é chamado de ciclo Diesel, que é diferente do ciclo Otto. Este último é utilizado para descrever o processo de transformação de energia tomando-se a gasolina ou o álcool como combustível.

a mistura. A etapa da combustão (3) acontece muito rápido, por isso pode ser considerada uma etapa a volume constante, onde a mistura, a alta pressão e temperatura, entra em combustão por meio de uma centelha elétrica produzida pela vela de ignição. Posteriormente, ocorre a expansão (4), onde a mistura realiza trabalho sobre o pistão e será esse o trabalho útil do processo – o “trabalho que cruza a fronteira de um sistema” (BORGNAKKE; SONNTAG, 2013, p. 93). E, então, a V_{ex} é aberta ($V_{ex} = 1$), V_{ad} é fechada ($V_{ad} = 0$) e o produto dessa combustão incompleta é liberado na etapa da exaustão (5). Observe que a etapa da exaustão é constituída por duas transformações: (i) isocórica; e (ii) isobárica. Mais à frente abordaremos a análise desse ciclo numa perspectiva teórica em que as etapas da aspiração e a isocórica da exaustão não estão presentes, pois, como observado no diagrama da Figura 17, a área entre essas etapas é muito pequena, ou seja, envolve uma quantidade muito pequena de trabalho realizado, de modo que se pode desprezar esses dois processos (SELEGHIM, 2015).

Tais características são apresentadas no quadro-síntese em sequência no Quadro 23 abaixo.

Quadro 23: Etapas do ciclo Otto.

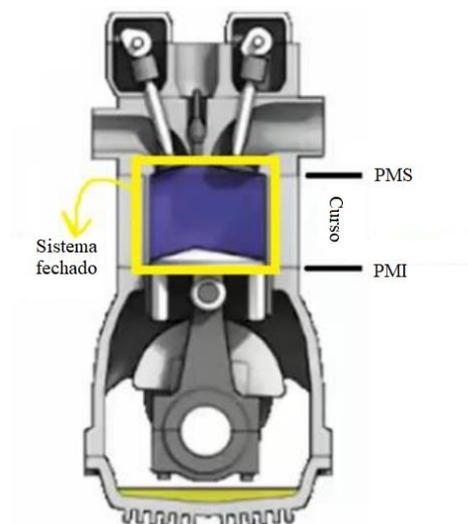
Etapa	Transformação	Processo	Válvula de admissão (V_{ad})	Válvula de exaustão (V_{ex})
6. Aspiração	Isobárica	Trabalho	Aberta $V_{ad} = 1$	Fechada $V_{ex} = 0$
7. Compressão	Adiabática	Trabalho	Fechadas $V_{ad} = V_{ex} = 0$	
8. Combustão	Isocórica	Calor		
9. Expansão	Adiabática	Trabalho		
10. Exaustão	Isocórica/Isobárica	Calor/Trabalho	Fechada $V_{ad} = 0$	Aberta $V_{ex} = 1$

Fonte: Elaboração própria.

1.2 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Basicamente, para compreendermos o ciclo Otto, necessitamos compreender o balanço de energia em determinado sistema fechado definido *a priori* que, em nosso caso, é o cilindro que contém a mistura ar-combustível (Figura 18). Nesse sistema o pistão irá se mover entre o Ponto Morto Superior (PMS) e o Ponto Morto Inferior (PMI) onde analisamos o comportamento da mistura ar-combustível.

Figura 18: Definição do sistema fechado.



Fonte: Adaptado de Seleglim (2015).

A PLT é uma extensão do princípio da conservação da energia que relaciona a variação de energia interna de um sistema termodinâmico com os processos de calor e trabalho. Logo, do princípio de conservação de energia (FEYNMAN, 2008), assumindo que toda energia que entra no sistema é positiva, ou seja, a energia interna aumenta se o sistema recebe energia por calor ou por trabalho, podemos escrever (TERMODINÂMICAUFF, 2014):

$$\Delta U = Q + W. \quad (1)$$

Na equação (1), a energia transferida por um processo de calor ou de trabalho é considerada positiva quando contribui para aumentar a energia interna do sistema (gás). Desse modo:

- a energia térmica transferida por calor pode ser:
 - c) positiva (+): quando o gás recebe energia térmica;
 - d) negativa (−): quando o gás cede energia térmica.
- a energia mecânica transferida por trabalho pode ser:
 - c) positiva (+): compressão – quando o pistão realiza trabalho sobre o gás;
 - d) negativa (−): expansão – quando o gás realiza trabalho sobre o pistão.

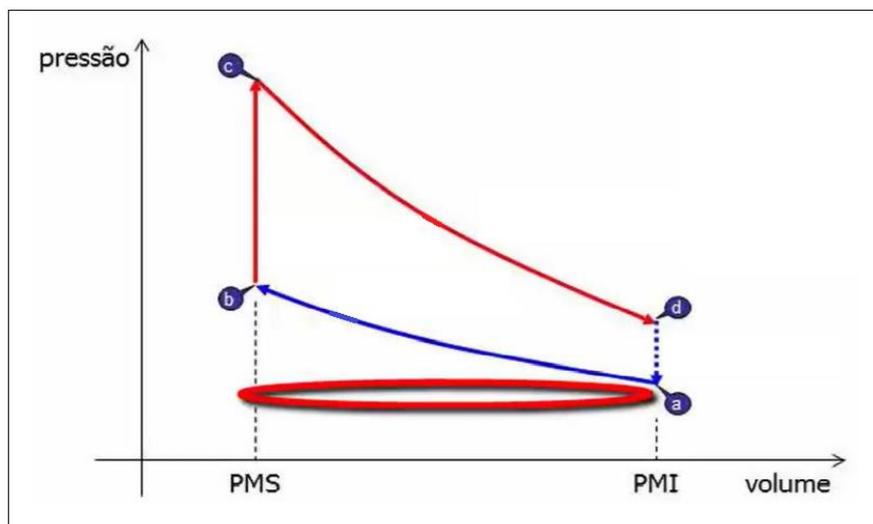
Podemos reescrever a equação (1) para uma pequena variação de energia. Para tanto é importante observar que calor e trabalho são processos que dependem do caminho, logo não podem ser representados por diferenciais exatas e sim inexatas em que mantemos a notação Q e W. Como enunciado pela PLT, uma variação finita de energia interna corresponde a processos finitos de transferência de energia por calor e trabalho,

como descrito na equação (1). Essa correspondência continua valendo para processos infinitesimais, ou seja, se ΔU pode ser muito pequeno, Q e W também são muito pequenos e escrevemos a equação (2).

$$dU = Q + W. \quad (2)$$

Retomando o ciclo Otto e analisando a variação de energia interna para cada etapa, observamos o comportamento da temperatura nas transformações descritas a seguir. Primeiramente, podemos fazer algumas simplificações: (i) a área que envolve os processos de aspiração e o final da exaustão é muito pequena, logo o trabalho pode ser desprezado; (ii) o fluido de trabalho, ou seja, o gás contido no sistema fechado em análise é o ar que se comporta como um gás perfeito (SELEGHIM, 2015). Dessa maneira, o ciclo teórico representado na Figura 19 abaixo.

Figura 19: Ciclo teórico.



Fonte: Adaptado de Seleghim (2015).

A seguir, apresentamos uma análise das etapas do ciclo Otto a partir da equação geral dos gases ideais.

- Etapa de **a** até **b** representa uma compressão com a diminuição do volume e aumento da pressão sendo um processo adiabático onde o sistema recebe energia por trabalho havendo o aumento da variação da energia interna, isto é, a temperatura final será maior que a inicial;

$$\frac{P_a V_a}{T_a} = \frac{P_b V_b}{T_b}, \quad (3)$$

Onde $P_a > P_b$, $V_a < V_b$. Desse modo,

$$\frac{T_b}{T_a} = \frac{P_b V_b}{P_a V_a} > 0. \quad (4)$$

Logo, $T_b > T_a$, ou seja, há um aumento de temperatura nesse processo.

- Etapa de **b** a **c**, combustão, ocorre a volume constante com o aumento da pressão onde o sistema recebe energia por calor havendo o aumento da variação da energia interna, logo a temperatura final será maior que a inicial

$$\frac{P_b}{T_b} = \frac{P_c}{T_c} \quad (5)$$

$$\frac{T_c}{T_b} = \frac{P_c}{P_b} > 0, T_c > T_b. \quad (6)$$

- Etapa de **c** a **d** representa uma expansão com o aumento do volume e diminuição da pressão sendo um processo adiabático onde o sistema libera energia por trabalho havendo a diminuição da variação de energia interna, portanto, a temperatura final será menor que a inicial

$$\frac{P_c V_c}{T_c} = \frac{P_d V_d}{T_d}, \quad (7)$$

Com $P_d < P_c$, $V_d > V_c$, assim

$$\frac{T_c}{T_d} = \frac{P_c V_c}{P_d V_d} > 0, T_d < T_c. \quad (8)$$

- Etapa de **d** a **a**, exaustão, ocorre a volume constante com a diminuição da pressão onde o sistema libera energia por trabalho havendo a diminuição da variação de energia interna, desse modo, a temperatura final será menor que a inicial.

$$\frac{P_d}{T_d} = \frac{P_a}{T_a}, \quad (9)$$

$$\frac{T_d}{T_a} = \frac{P_d}{P_a} > 0, T_a < T_d. \quad (10)$$

Podemos resumir o ciclo e suas variáveis conforme o Quadro 24 a seguir:

Quadro 24: Ciclo Otto e as variáveis termodinâmicas.

Compressão (a – b)	Combustão (b – c)	Expansão (c – d)	Exaustão (d – a)
$T_b > T_a$ $T \uparrow$ $Q = 0$ $\Delta U = W > 0$ $\Delta U \uparrow$	$T_c > T_b$ $T \uparrow$ $\Delta V = 0, W = 0$ $\Delta U = Q > 0$ $\Delta U \uparrow$	$T_d < T_c$ $T \downarrow$ $Q = 0$ $\Delta U = W < 0$ $\Delta U \downarrow$	$T_a < T_d$ $T \downarrow$ $\Delta V = 0, W = 0$ $\Delta U = Q < 0$ $\Delta U \downarrow$

Fonte: Elaboração própria.

Em síntese, na compressão ($a - b$) há o aumento de temperatura sem troca de energia térmica por calor e o pistão realizou trabalho sobre o gás; na combustão ($b - c$) há o fornecimento de energia térmica por calor com o aumento da temperatura sem a realização de trabalho; na expansão ($c - d$) o gás realiza trabalho sobre o pistão com a diminuição de sua temperatura sem que haja troca de energia térmica por calor; na exaustão ($d - a$) há a liberação de energia térmica por calor para o meio com a diminuição da temperatura do gás sem a realização de trabalho.

2 CTS E AS VISÕES DA TECNOLOGIA

O movimento CTS se iniciou num contexto de crítica em relação a influência social sobre a CT, seja no âmbito da sociedade de forma ampla, seja no âmbito educacional. No âmbito da educação, como afirma Auler (2007), alguns dos objetivos da educação CTS são: “(i) discutir as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da ciência-tecnologia (CT)” e “(ii) formar cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados capazes de tomar decisões informadas e desenvolver o pensamento crítico e a independência intelectual” (AULER, 2007, p. 1). Corroborando com tais objetivos, Dagnino (2008) ainda afirma que o movimento CTS evidencia e discute as relações entre ciência, tecnologia e sociedade

(...) de maneira menos ingênua (...), destacando também os aspectos negativos associados ao “avanço” científico e tecnológico sobre a sociedade, a partir de perspectivas ambientais, políticas, econômicas, sociológicas etc. (DAGNINO, 2008, p. 6).

Portanto, o enfoque CTS apresenta uma proposta de desconstrução da sociedade dominada pelo avanço tecnológico, buscando uma sociedade possuidora de recursos capazes de questionar e analisar tal domínio, com o objetivo de construir uma outra sociedade pautada em valores coletivos, “como os de solidariedade, de fraternidade” e “de consciência do compromisso social” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 114). Para tanto, o enfoque CTS abrange discussões acerca das esferas Ciência-Tecnologia-Sociedade (C-T-S), onde encontram-se questões sobre a natureza da ciência, da tecnologia e da sociedade (CHRISPINO, 2017; SANTOS, 1992), esclarecidas, a seguir, através da síntese apresentada no Quadro 25.

Quadro 25: As esferas C-T-S

Aspectos CTS	Esclarecimentos	Exemplos sobre máquinas térmicas
Natureza da Ciência.	Ciência é uma busca de conhecimentos dentro de uma perspectiva social.	Desenvolvimento do motor a vapor atendendo à demanda da burguesia.
Natureza da Tecnologia.	Tecnologia envolve o uso do conhecimento científico e de outros conhecimentos para resolver problemas práticos.	Trabalho de Joule na busca por um motor mais eficiente.
Natureza da Sociedade.	A sociedade é uma instituição humana na qual ocorrem mudanças científicas e tecnológicas.	Condições políticas, acúmulo de capital: revolução industrial.

Fonte: Adaptado de Chrispino (2017) e Santos (1992).

Adotamos as esferas C-T-S como **prática científica – prática tecnológica – temas sociais** com a intenção de desvincular a relação entre ciência e a tecnologia de um desenvolvimento da ciência que gira em torno da concepção e produção de um artefato tecnológico, associando assim o uso deste artefato aos desenvolvimentos econômico e social (DAGNINO, 2014; AULER, 2007; SANTOS; MORTIMER, 2000). Desse modo, ao utilizarmos o termo prática científica chamamos a atenção para as discussões relativas à natureza da ciência. De forma semelhante ocorre com os termos prática tecnológica e temas sociais. Assim, pretendemos destacar

(...) como os contextos social, cultural e ambiental, nos quais se situam a ciência e a tecnologia, influenciam a condução e o contexto das mesmas; como ciência e tecnologia, por sua vez, influenciam aqueles contextos e, finalmente, como ciência e tecnologia têm efeitos recíprocos e suas inter-relações variam de época para época e de lugar para lugar (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 120-121).

Ou seja, destacar as influências recíprocas que C-T-S sofrem, como o efeito da ciência sobre a tecnologia em que “a produção de novos conhecimentos tem estimulado mudanças tecnológicas” (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 121). Assim, ao tratarmos da prática científica, abordamos as questões de natureza da ciência de maneira a evidenciar as relações recíprocas entre ciência, tecnologia e sociedade – relações presentes no enfoque CTS. Segundo Moura (2014), a natureza da ciência pode ser

(...) entendida como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas (MOURA, 2014, p. 32).

De maneira a exemplificar as questões de natureza da ciência no contexto da prática científica, vamos considerar a construção da máquina a vapor que se deu na ascensão do capitalismo na Europa. Percebemos, então, que o capitalismo se mostrou o definidor dos valores sociais e do desenvolvimento científico e tecnológico da época, como representado no Quadro 26.

Quadro 26: Prática científica e os aspectos da concepção CTS.

Questões de natureza	Exemplo
Filosófica	Produção científica focada na solução de problemas para a burguesia.
Sociológica	A divisão do trabalho e o fazer científico baseados no modelo capitalista.
Histórica	O desenvolvimento da teoria da termodinâmica foi favorável por estar inserido no contexto da revolução industrial.

Política	Ascensão do capitalismo.
Econômica	A busca pelo lucro, presente no capitalismo, dita formas “eficientes” de obtenção do trabalho e matérias-primas.
Humanística	Naturalismo: cartas das expedições marítimas.

Fonte: Elaboração própria a partir de Pereira e Lambach (2017) e Sevcenko (2006).

Partimos, assim, da questão de natureza sociológica onde o modelo capitalista pareceu determinar características para a sociedade e traçou o caminho que a ciência e tecnologia deveriam percorrer, colocando em xeque, neste exemplo, a visão descontextualizada da ciência, a qual implica numa visão socialmente neutra, visão simplista das relações CT, ignora as relações C-T-S (CACHAPUZ, 2011). Como apontam Pereira e Lambach (2017), no contexto da construção da máquina a vapor,

(...) ocorre a ascensão do modo de produção capitalista, com a divisão do trabalho (realizado pelo proletariado) e intelectual (sob controle do detentor dos meios de produção), a alienação do trabalho, e a produção visando o lucro. Isso determina um importante valor social da época (que permanece até hoje): a busca pelo crescimento econômico indeterminado (PEREIRA; LAMBACH, 2017, p. 4-5).

Logo, observamos que a ciência foi desenvolvida sob os valores de mercado determinados na época, pois “a escolha dos problemas a serem resolvidos foi afetada pela revolução industrial” (PEREIRA e LAMBACH, 2017, p. 7). Isto é, tivemos uma ciência em prol do desenvolvimento de uma tecnologia que contribuiu para o enriquecimento de uma classe que a controlava, a burguesia. Assim, os conhecimentos científicos desenvolvidos nessa época não foram produzidos única e exclusivamente em prol da ciência destacando a não neutralidade tanto da ciência quanto da tecnologia.

Em suma, a partir do contexto socioeconômico da construção e desenvolvimento da máquina a vapor que apresentamos de forma sucinta, que dentro do enfoque CTS, a esfera da ciência não se limita a enunciar o conteúdo científico; no caso da construção da máquina a vapor, enunciar os conceitos de “calor” e “trabalho”, por exemplo. A discussão de tais conceitos está interligada às questões de natureza da ciência, como foram apontadas no Quadro 26.

De maneira análoga, no enfoque CTS, a tecnologia não está apenas relacionada ao uso de determinado artefato tecnológico. Santos e Mortimer (2000) apresentam a tecnologia como uma prática que se relaciona com seus aspectos técnico, organizacional e cultural. Dentro dessa perspectiva, explicamos os aspectos da prática tecnológica trazendo um pouco da jornada de Joule em sua busca pela substituição do motor a vapor pelo motor elétrico, resumida no Quadro 27. É importante, então, ter clareza com relação

a representação dos aspectos da prática tecnológica por Santos e Mortimer (2000), os quais são esclarecidos a seguir.

1. **aspecto técnico:** conhecimentos, habilidades e técnicas; instrumentos, ferramentas e máquinas; recursos humanos e materiais; matérias primas, produtos obtidos, dejetos e resíduos;
2. **aspecto organizacional:** atividade econômica e industrial; atividade profissional dos engenheiros, técnicos e operários da produção; usuários e consumidores; sindicatos;
3. **aspecto cultural:** objetivos, sistemas de valores e códigos éticos, crenças sobre o progresso, consciência e criatividade (SANTOS; MORTIMER, 2000, p. 118 – grifos no original).

Partindo-se, assim, da jornada vivida por Joule, começamos por entender e caracterizar o ambiente em que ele desenvolveu seu trabalho. Joule estava imerso no ambiente da Revolução Industrial e teve seu trabalho desenvolvido sob influência dos técnicos da época. Sobre tal aspecto, Queirós, Nardi e Delizoicov (2014), afirmam que no período havia

(...) uma quantidade grande de homens que elaboravam técnicas de maneira artesanal, ou seja, muitos artefatos que foram construídos, não foram no meio acadêmico, e sim, por pessoas da sociedade da época, como industriais e inventores, principalmente, os cervejeiros de Manchester (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV, 2014, p. 104).

Nesse cenário, o objetivo de Joule foi desenvolver um motor mais eficiente, que atendesse às demandas da nova era industrial, assim “as principais motivações de Joule eram técnicas e econômicas” (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV, 2014, p. 102). Em outras palavras, existia um ambiente guiado pelos interesses de economia de mercado, os quais influenciaram o desenvolvimento dos estudos relacionados a ciência e a tecnologia, caracterizando o aspecto organizacional da prática tecnológica, representado no Quadro 27.

Quadro 27: Prática tecnológica e os aspectos da concepção CTS.

Prática tecnológica	Exemplo
Aspecto cultural	Substituição do motor a vapor; valores de mercado; desenvolvimento tecnológico em prol do progresso.
Aspecto organizacional	Ambiente tecnicista e industrial.
Aspecto técnico	Engenheiros; trabalhos práticos para aperfeiçoamento das técnicas de cervejaria; transição do trabalho artesanal para o industrial.

Fonte: Elaboração própria a partir de Queirós, Nardi e Delizoicov (2014).

Santos (1992) discursa, ainda, sobre o ensino CTS caracterizado pela correlação de ciência, tecnologia e sociedade destacando, desse modo, a “organização conceitual centrada em temas sociais” (SANTOS, 1992, p. 130). Dito de outra forma, a esfera da sociedade representa a partida e a retomada da concepção CTS, o que “envolve necessariamente a inclusão dos **temas sociais**” (SANTOS, 1992, p. 139 – grifos nossos). Dessa maneira, pensar em um currículo linear guiado apenas pelos conteúdos científicos pode não representar as interações CTS (SANTOS; MORTIMER, 2000; AULER, 2007; ROSO; AULER, 2016; SANTOS; AULER, 2019). Poder-se-ia, então, pensar em um currículo de forma a destacar as interações CTS.

2.1 VISÕES DA TECNOLOGIA

Com o objetivo de refletirmos sobre as influências da díade CT em determinado grupo social, apresentamos a seguir as visões da tecnologia segundo a perspectiva proposta por Dagnino, Brandão e Novaes (2004) e Dagnino (2010, 2011, 2014) que abarca como categorias o **Instrumentalismo**, o **Determinismo**, o **Substantivismo** e a **Teoria Crítica** ou **Adequação Sociotécnica (AST)**. Destacamos que, embora os autores façam essa discussão no campo dos Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia (ESCT) tendo como objetivo o desenvolvimento do que no Brasil se denominou Tecnologia Social²⁵, recentemente diversos trabalhos acadêmicos têm se valido de alguns conceitos discutidos naquele campo, transpondo-os para o ambiente escolar (DELIZOICOV; AULER, 2011; SANTOS; AULER, 2019; ROSO; AULER; DELIZOICOV, 2020). Aqui, vamos prescindir de abordar as questões relativas ao conceito de tecnologia social, uma vez que tal discussão está fora do escopo deste trabalho.

Portanto, considerando nossa proposta neste trabalho de compreender as concepções sobre as relações CT de um grupo de pessoas – no nosso caso, estudantes – a partir da análise das visões da tecnologia, tomamos as noções abordadas no ensino. Para a análise das visões da tecnologia apresentamos os esclarecimentos de alguns conceitos no Quadro 28, os quais entendemos como necessários para tal análise.

Quadro 28: Conceitos-chave presentes nas visões da tecnologia.

Eixos	Características
Controlável pelo homem	O grupo detentor da tecnologia regulamenta seu uso e seu desenvolvimento.
Neutra	Ignora-se as relações presentes entre a tecnologia, a ciência e o grupo social. O conhecimento e o desenvolvimento da

²⁵ “Considera-se tecnologia social todo o produto, método, processo ou técnica, criado para solucionar algum tipo de problema social e que atenda aos quesitos de simplicidade, baixo custo, fácil aplicabilidade (e reaplicabilidade) e impacto social comprovado” (DAGNINO, R. 2020, p. 44-45).

	tecnologia não levam em conta as questões que se desenrolam no contexto social deles.
Autônoma	A tecnologia dirige a si mesma.
Condicionada por valores	Valores determinados pelo grupo que detém a tecnologia, podendo ser desde obtenção de lucro a valores coletivos, como compromisso social.

Fonte: Elaboração própria a partir de Dagnino (2010, 2014); Moura (2014); Oliveira (2008).

Para caracterizar as visões da tecnologia, também retornaremos ao exemplo da máquina a vapor tratado anteriormente quando apresentamos os aspectos da prática tecnológica e as questões da natureza da ciência que estão resumidas no Quadro 26 e no Quadro 27.

Começaremos, então, pela construção do modelo de o qual contribuiu para o entendimento de que há uma relação direta entre desenvolvimento da ciência e da tecnologia e desenvolvimento econômico e social, o que configura o MTLP. Como tratado por Auler (2007), o MTLP pressupõe que "(...) o desenvolvimento científico (DC) gera desenvolvimento tecnológico (DT), este gerando o desenvolvimento econômico (DE) que determina, por sua vez, o desenvolvimento social (DS - bem-estar social)" (AULER, 2007, p. 8).

Dito de outra forma, no MTLP, o desenvolvimento científico gera desenvolvimento tecnológico e, conseqüentemente, desenvolvimento econômico e social, associando o desenvolvimento social a um consumismo materialista, ou seja,

um “modelo de desenvolvimento pautado no (...) **consumismo exacerbado** e (...) **obsoletismo planejado** que o capitalismo em sua fase neoliberal erige como fundamento do virtuosismo da economia de mercado” (DAGNINO, 2010, p. 284 – grifos no original).

Esta constitui a “visão “moderna padrão”, liberal e otimista no progresso” (DAGNINO, 2010, p. 296) denominada instrumentalismo, a qual, em nosso entendimento, se enquadra no contexto da máquina a vapor. No instrumentalismo, a ciência é usada para o desenvolvimento tecnológico e este é usado para atender alguma necessidade de uma parcela da sociedade, no exemplo da máquina a vapor, a sociedade burguesa (PEREIRA; LAMBACH, 2017; DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2004). Dessa forma, como aponta Oliveira (2008),

(...) a natureza se reduz a uma coleção de fatos, desprovida de valor intrínseco, restando apenas o **valor instrumental** para nós. (...) **não há restrição ética** a que a dominemos, tratando-a da maneira que nos aprouver para satisfazer nossas necessidades e desejos, de forma cada vez mais ampla e eficiente graças à aplicação tecnológica do próprio conhecimento científico (OLIVEIRA, 2008, p. 99 – grifos nossos).

Nesta visão, a natureza é revelada pelo homem por meio de uma ciência neutra e verdadeira *a priori*, que leva ao desenvolvimento de uma tecnologia, igualmente neutra e eficiente também *a priori*. Assim, o uso desta tecnologia pode se dar tanto para o bem quanto para o mal pois, embora seu desenvolvimento não seja condicionado por valores (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2004), ela é controlada pelo homem por meio da ética, a qual está relacionada à sociedade e não à CT em si.

No contexto de uma visão descontextualizada da ciência, o referido autor aponta que a neutralidade de CT “é coerente com a noção de progresso como uma sucessão de fases ao longo de um tempo linear e homogêneo dando origem a resultados melhorados sucessiva, contínua e cumulativamente” (DAGNINO, 2002, p. 4). Nesse sentido, no determinismo.

A ideia é de que a ciência é neutra e inerentemente boa, e que ela é utilizada para servir a um modo de produção que está baseado na exploração do homem pelo homem, mas amanhã, quando essa ciência e essa tecnologia estiverem sendo usadas em outro projeto político, apropriadas pela classe trabalhadora, construirá (...) um modelo social, econômica e ambientalmente sustentável (DAGNINO, 2010, p. 298).

Em outras palavras, enquanto no instrumentalismo o homem determina o desenvolvimento tecnológico a partir do seu controle sobre este, no determinismo, a tecnologia determina o seu próprio desenvolvimento de forma endógena, pois é autônoma, e, conseqüentemente, promove o progresso social, como preconiza o MTLP. Desse modo, o determinismo associa o avanço da tecnologia ao desenvolvimento social. No contexto da máquina a vapor, Pereira e Lambach (2017) destacam que os desenvolvimentos tecnológicos e as mudanças sociais ocorridas no século XIX não tiveram origem em uma teoria da termodinâmica, mas sim que “(...) os valores sociais que tornaram-se hegemônicos com o advento do capitalismo moderno passaram a permear as diversas instituições sociais” (PEREIRA; LAMBACH, 2017, p. 4).

Em resumo, estas duas formas de enxergar a tecnologia aceitam a sua neutralidade como pressuposto. Mas, no instrumentalismo, não há a intensão de mudança “(...) nas relações sociais e modos de produção, segue vigente o capitalismo”

(DAGNINO, p. 104, 2014). Assim, o capitalismo poderia representar um sistema que modifica ou não a estrutura social, o que ficaria então sob a responsabilidade de uma ética, a qual é extrínseca ao próprio conhecimento científico e tecnológico. No determinismo, essa mudança social está sob a responsabilidade da classe trabalhadora que, a partir do momento em que ela passe a controlar essa tecnologia inerentemente boa, isso seria “(...) suficiente para impulsionar a transição do capitalismo ao socialismo” (DAGNINO, p. 104, 2014), o qual é entendido pelos adeptos desta visão como sendo um melhor modelo de sociedade. Portanto, o pressuposto da neutralidade da tecnologia tem como consequência imediata a crença de que ela pode servir a qualquer estrutura econômica.

Ainda sobre a tecnologia autônoma, no substantivismo, Dagnino (2010) aponta que esta visão “afirma que os meios e os fins são determinados pelo sistema capitalista” (DAGNINO, 2010, p. 299). Desta forma, a tecnologia perde o seu caráter instrumental e passa a incorporar um valor que é definido pelo modo de produção capitalista e, portanto, é incapaz de servir a outros propósitos, sejam eles individuais ou coletivos (sociais). Ou seja, é conferido à CT um valor substantivo que assume “o compromisso com uma concepção específica do bem-viver” (DAGNINO; SILVA; PADOVANNI, 2011, p. 119-120). Em outras palavras, há um compromisso com os valores determinados pelo grupo social (DAGNINO; SILVA; PADOVANNI, 2011), determinando o uso da tecnologia. Assim, no substantivismo, a CT

carregaria consigo valores que têm o mesmo caráter exclusivo das religiões que estipulam as crenças, orientam a conduta e conformam ideologicamente o inconsciente coletivo de grupos sociais. A tecnociência capitalista tenderia inevitavelmente a se afinar com os valores imanentes da “sociedade tecnológica”, como a eficiência, o controle e o poder (DAGNINO, 2014, p. 104-105).

Embora tanto o determinismo quanto o substantivismo advoguem a favor da autonomia da CT, o primeiro é otimista, pois acredita que essa CT capitalista possa servir a um outro modelo de sociedade em determinadas circunstâncias; o segundo, por sua vez, é pessimista, pois pressupõe que essa CT conforma a sociedade de acordo com os seus valores de bem-estar, de modo a impedir qualquer tentativa de construir outro modelo de sociedade com valores distintos dos seus (DAGNINO, 2014). Nesta visão estariam incluídas as distopias tecnológicas, como o famoso livro “Admirável Mundo Novo” e, mais recentemente, a série não menos famosa “*Black Mirror*”.

Nesse sentido, observando o histórico da máquina a vapor, Joule, baseado nos valores de mercado da época – que acabam por constituir os valores presentes até a atualidade – propôs a substituição do motor a vapor pelo motor elétrico.

Ainda no contexto de Joule, percebemos que os valores de mercado mencionados se preocupavam com a classe que detinha o poder, ou seja, a classe que dominava e determinava o crescimento do mercado. No entanto, essa ideia de progresso vinculado ao comprometimento com a boa condição social, como preconiza o MLTP, passa a ser colocada em discussão com a degradação ambiental que começou a ser destacada nas décadas de 1960 e 1970. Ou seja, ao tomarmos esses valores como aqueles que “estão vinculados aos **interesses coletivos**, como os de solidariedade, de fraternidade, de consciência do compromisso social, de reciprocidade, de respeito ao próximo e de generosidade” (SANTOS; MORTIMER, p. 114, 2000 – grifos nossos), passamos a assumir que a tecnologia, não-neutra, assume valores voltados para a coletividade, caracterizando a visão da tecnologia denominada AST (DAGNINO, 2010).

Nesta visão, a CT pode ser controlada pelo homem, o que representa uma concordância com o instrumentalismo, e é portadora dos valores capitalistas “(...) com características específicas, que os reproduzem e reforçam (...) e que inibem a mudança social” (DAGNINO, 2014, p. 105), como propõe o substantivismo. No entanto, para os partidários da AST,

A tecnociência não é percebida como uma ferramenta capaz de ser usada para qualquer projeto político ou em qualquer regime social de acumulação como pensam, otimisticamente, os partidários do Determinismo. Nem como algo que deve ser usado e orientado pela “Ética”, como ingênua ou cinicamente querem os Instrumentalistas. Tampouco como um apêndice indissociável de valores e estilos de vida particulares, privilegiados em função de uma escolha (ou imposição) feita na sociedade, como os Substantivistas (DAGNINO, 2014, p. 105).

Na perspectiva da AST, destaca-se a percepção de que a tecnologia pode ser utilizada para propósitos distintos daqueles para os quais ela foi originalmente concebida, caracterizando, assim, uma possível liberdade em seu uso. Isto é, a tecnologia ainda pode ser a solução para os problemas enfrentados por determinado grupo social,

desde que reprojeta (...), poderia servir de suporte a diferentes estilos de vida, cada um refletindo diferentes propostas a respeito do bem-viver. Isto resultaria em escolhas de projetos diferentes, dado que orientadas por interesses e valores (alternativos). (...) Para a adequação sociotécnica, as tecnologias não compreendidas como ferramentas, mas como suportes para estilos de vida; o que abre a possibilidade de submeter seu desenvolvimento e as escolhas que o condicionam a controles mais democráticos (DAGNINO; SILVA; PADOVANNI, 2011, p. 121).

2.2 C-T-S A PARTIR DAS VISÕES DA TECNOLOGIA: O CASO PARA ESTUDO

Na SD proposta, o caso para estudo é composto de uma narrativa que se passa na cidade fictícia de Albuquerque. Albuquerque é uma típica cidade de interior que tem sua rotina mudada com a chegada de uma montadora de veículos e de novos e antigos moradores em busca de emprego. A montadora é instalada no bairro Santo Augusto e o aumento do fluxo de pessoas para trabalhar na montadora, entre outros acontecimentos, evidencia os problemas associados ao transporte público na modalidade ônibus. Estes problemas, levantados pelos moradores do bairro, são colocados em discussão em reunião junto à associação de moradores do bairro, cujo presidente é Vitor Manuel. Vitor Manuel, convidado para participar de uma audiência pública na Câmara de Vereadores da cidade, traça, junto com os moradores nesta reunião, possíveis propostas para a melhoria do transporte público no bairro.

Os estudantes são, então, convidados a votar em uma das propostas das personagens Isabel, Denis, Sandra e Amanda e justificar suas escolhas.

- (g) Isabel: As empresas de ônibus devem efetuar a manutenção a cada dois meses dos veículos, pois é de sua responsabilidade para que os ônibus estejam circulando em melhor estado.
- (h) Denis: Há um novo motor à combustão interna desenvolvido pela *LR Motors*, uma multinacional que está dominando esse mercado. A empresa de ônibus deve renovar a frota com ônibus dessa multinacional gerando a melhoria do serviço prestado à população.
- (i) Sandra: As empresas de ônibus devem investir em estudos para o uso de combustíveis menos poluentes reduzindo o risco de doenças respiratórias no bairro.

- (j) Amanda: A empresa de ônibus e a comunidade discutirão a criação de um programa para manutenção dos ônibus e regulamentação das emissões de poluentes.

Tais propostas foram elaboradas baseadas nas visões da tecnologia, resumidas no Quadro 29.

Quadro 29: Visões da tecnologia.

Visões da tecnologia	Características	Exemplos
Instrumentalismo	<ul style="list-style-type: none"> • Controle humano da tecnologia e neutralidade de valores; • Tecnologia como ferramenta/instrumento para a satisfação de necessidades humanas; • Tecnologia pode ser usada para o bem ou para o mal. 	Inspeção frequente das máquinas.
Determinismo	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia neutra; • Tecnologia autônoma; • Tecnologia determina o avanço social; • Tecnologia como solução para os problemas sociais; • Domínio tecnológico gera produção eficiente e progresso. 	Combustíveis mais “eficientes”.
Substantivismo	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia assume compromisso com o bem-viver; • Tecnologia condicionada por valores; • Tecnologia autônoma. 	Diminuição das taxas de emissão dos combustíveis fósseis.
Adequação Sociotécnica	<ul style="list-style-type: none"> • Não neutralidade tecnológica; • Não neutralidade científica; • Tecnologia controlada pelo homem; • Tecnologia portadora de valores; • Tecnologia ainda pode ser a solução. 	Projetos/programas de controle das máquinas.

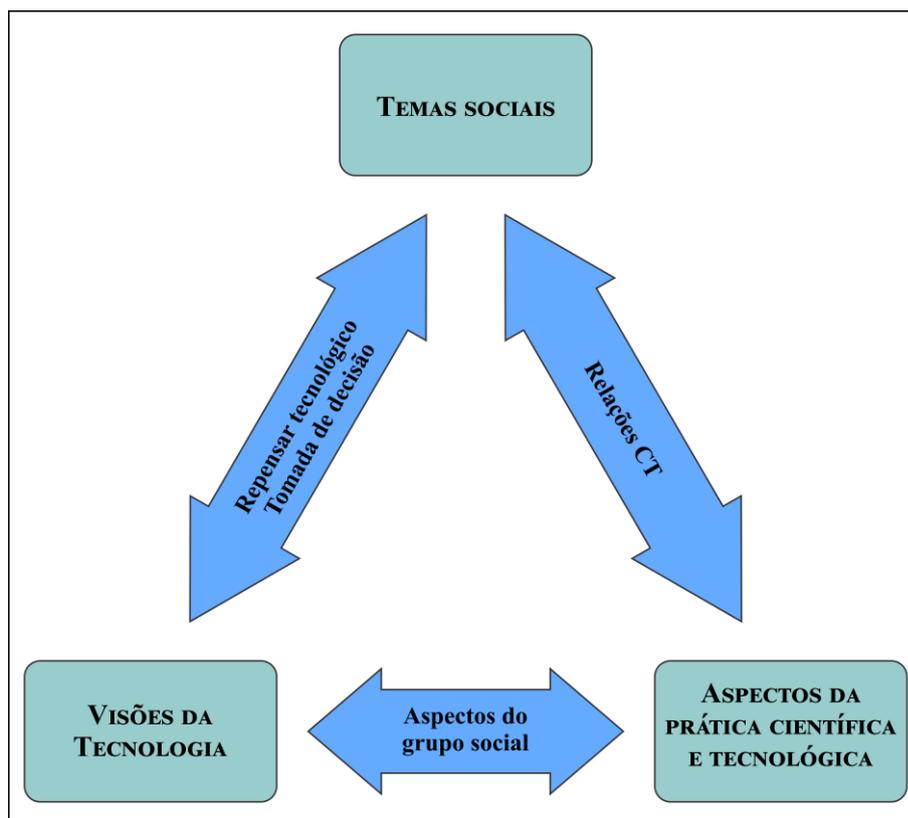
Fonte: Elaboração própria a partir de Dagnino; Brandão; Novaes (2004).

Para o instrumentalismo, então, considerando o valor instrumental da tecnologia, o controle e o funcionamento das máquinas seriam essenciais. Ou seja, deve-se verificar as máquinas em intervalos periódicos a fim de garantir que continuem atendendo ao grupo social, por isso a proposta de Isabel destaca a manutenção periódica dos ônibus. No determinismo o foco poderia estar no desenvolvimento de máquinas mais “eficientes”, pois este crescimento poderia gerar melhoria no transporte público. Tal melhoria poderia ocasionar o aumento da frota e, conseqüentemente, o aumento do número de empregos gerando, assim, o progresso do grupo social. Desse modo a proposta de Denis centra-se na tecnologia desenvolvida pela multinacional visando esse “crescimento linear” e conseqüente melhoria no transporte público.

Conseguimos observar, nesse exemplo, de maneira mais acentuada a neutralidade da tecnologia, pois esta está isenta de fatores externos, como seu mau uso. No entanto, neste caso, quem garante que haverá aumento do número de empregos e não a circulação do mesmo contingente de ônibus ocasionando a superlotação? Essa garantia poderia surgir no substantivismo, em que a tecnologia, ainda autônoma, é condicionada por valores e passa a admitir o compromisso com o bem-viver, podendo assumir, por exemplo, o compromisso com os direitos humanos do grupo social. A proposta de Sandra destaca esse compromisso com o bem-viver pensando-se nos poluentes emitidos pelo motor à combustão interna.

Ainda, assim, não há a garantia de controle do grupo sobre a tecnologia. Temos a classe que domina o mercado como detentora da tecnologia e (por que não?) dos direitos humanos que serão “priorizados”. A participação do grupo social para o cumprimento dos direitos humanos poderia ser garantida com a criação programas de controle constituído por membros deste grupo social, que vai ao encontro da visão da AST. Dito de outra forma, destaca-se a sociedade participando das ações relativas aos direitos humanos descentralizando esse controle do mercado. Desse modo o desenvolvimento da tecnologia não estaria centrado apenas na classe detentora do mercado, pois tal crescimento deve estar de acordo com os direitos humanos. Portanto, a proposta de Amanda está vinculada à criação de programa para a regulamentação dessas taxas de emissão dos poluentes emitidos pelo motor à combustão interna. A seguir, A Figura 20 representa uma síntese do que já foi discutido a partir das visões da tecnologia repensadas, agora, dentro dos pressupostos CTS em busca da tomada de decisão.

Figura 20: Etapas do processo de tomada de decisões em temas relativos à CT.



Fonte: Elaboração própria.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Nesta seção, apresentamos o planejamento de cada aula da SD proposta, bem como uma breve descrição dos recursos didático-metodológicos. Para cada aula há a apresentação do plano da respectiva aula seguida de uma apresentação da metodologia proposta. Desse modo, se a aula utiliza o recurso didático-metodológico diálogo argumentativo, este é explicado em seguida do plano da aula em questão.

Todas as aulas apresentam avaliação formativa, a qual se realiza durante o processo de ensino e aprendizagem, sendo definida como uma avaliação qualitativa (PEREIRA, 2021). Segundo Pereira (2021), a avaliação formativa “refere-se ao acompanhamento, supervisão, gerenciamento e monitoramento que o professor consegue fazer dos educandos durante o processo de ensino e aprendizagem” (PEREIRA, 2021, p. 56). Para as aulas 3 e 4, a avaliação formativa é realizada usando o aplicativo *Plickers*²⁶, “uma ferramenta de avaliação para questões objetivas” (PEREIRA, 2021, p. 113).

Quadro 30: Planejamento da Aula 1.

AULA 1	
MNPEF Polo 24	Semestre
Professora: Renata Kaiser Gumieri	
Tema: Diagnóstico.	
Objetivos:	
<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar as concepções que os estudantes trazem acerca do transporte público; • Diagnosticar a visão dos estudantes acerca da tecnologia relacionada ao transporte público e sua relação com a sociedade. 	
Conteúdos: Aspectos relacionados ao transporte público, tais como poluição e qualidade de vida.	
Atividades de ensino e metodologia:	
<ul style="list-style-type: none"> • Atividade de associação livre de palavras a partir da palavra “ônibus”. Neste processo o professor pede aos estudantes que escrevam as cinco primeiras palavras que venham a sua cabeça referentes a ela. (Duração: cerca de 10 minutos) • Avaliação diagnóstica: caso para estudo. (Duração: cerca de 30 minutos) 	
Avaliação: avaliação diagnóstica acerca da relação entre tecnologia e sociedade.	
Recursos:	
<ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e pincel ou quadro negro e giz; • Avaliação diagnóstica: material impresso. 	

²⁶ Disponível para download em <https://www.plickers.com/>. Consulte também a dissertação de Pereira (2021): PEREIRA, F. G. **Avaliação formativa sobre energia:** uma proposta de sequência didática utilizando o aplicativo *Plickers*. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora 2021.

Atividade extraclasse sugerida:

- Assistir ao documentário “130 km – Vida ao Extremo”
“SINOPSE: O caos de uma metrópole mostrado nos passos e descrito nas palavras de quatro pessoas que sentem na pele os problemas de morar nas periferias de São Paulo. A quase inexistente oferta de emprego e os rastros de uma cidade mal estruturada ao longo das décadas se refletem nas jornadas diárias de Maria Ednete, Heraldo, Flávia e Mateus, moradores dos quatro bairros extremos da capital paulista - Marsilac, Cidade Tiradentes, Tremembé e Raposo Tavares - que desafiam a imobilidade urbana da cidade. Assim como milhares de paulistanos, os quatro enfrentam longas distâncias, congestionamentos e transportes coletivos precários para chegar ao emprego na região central, motivados pelos anseios por uma vida melhor” (MACEDO, 2015).

Referências bibliográficas para os estudantes:

MACEDO, R. de. 130 km – Vida ao Extremo. **Youtube**, 13 mai. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XP8JN1y9lmI>. Acesso em: 26 jul. 2021.

Referências bibliográficas para os professores:

MACEDO, R. 130 km – Vida ao Extremo. **Youtube**, 13 mai. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XP8JN1y9lmI>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SANTOS, W. L. P. **Aspectos sócio-científicos em aulas de química**. Tese (doutorado em educação). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

TAVARES, D. W. S.; BRITO, R. C.; CÓRDULA, A. C. C.; SILVA, J. T.; NEVES, D. A. B. Protocolo verbal e teste de associação livre de palavras: perspectivas de instrumentos de pesquisa introspectiva e projetiva na ciência da informação. **PontodeAcesso**, Salvador, v.8, n.3, p. 64-79, dez. 2014.

Fonte: Elaboração própria.

A Aula 1 consiste em duas atividades: (i) associação livre de palavras e (ii) avaliação diagnóstica. A associação livre de palavras é um recurso didático-metodológico que fornece um diagnóstico sobre tais concepções caracterizando o perfil da turma em relação à problemática inicial. Consiste “(...) na apresentação de uma palavra-estímulo ao respondente para que ele, por meio de uma associação livre, designasse o objeto apresentado” (SHIMIZU; MENIN, 2004. p. 241). Ou seja, o professor ao utilizar este recurso didático-metodológico informa uma palavra e os estudantes devem escrever um pequeno conjunto de palavras que inicialmente lhe vêm a sua cabeça sobre a palavra informada. Essa quantidade de palavras deve ser definida pelo docente e informada previamente aos estudantes. Na SD proposta, a associação livre de palavras, utiliza a palavra “ônibus”.

A avaliação diagnóstica é composta pelo caso para estudo, sendo apresentadas as explicações das alternativas na seção 2.2. Assim, na segunda atividade, embora Auler (2007) aponte a tomada de decisão como o ápice do processo de ensino com enfoque CTS, isso não nos parece ser uma prescrição e, portanto, sendo passível de adaptações. Logo, propomos nesta SD a tomada de decisão no seu início como um diagnóstico da visão que os estudantes possuem sobre a tecnologia “ônibus” a partir do caso para estudo

e novamente ao final da SD, tornando esse momento o ápice da SD, de modo coerente ao indicado por Auler (2007).

Quadro 31: Planejamento da Aula 2.

AULA 2	
MNPEF Polo 24	Semestre
Professora: Renata Kaiser Gumieri	
Tema: Estudo referente à tecnologia: aspectos cultural, organizacional e técnico.	
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar as características, valores presentes no transporte público a partir da perspectiva dos estudantes; • Identificar os aspectos cultural, organizacional e técnico referentes à prática tecnológica a partir da perspectiva dos estudantes; • Apontar os aspectos cultural, organizacional e técnicos referentes à prática tecnológica. 	
Conteúdos: Aspectos cultural, organizacional e técnico da prática tecnológica na modalidade de transporte público ônibus.	
Atividades de ensino e metodologia: <p>Primeiro diálogo argumentativo (CARVALHO; FERRAREZI Jr., 2018):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Em grupo, os estudantes discutirão sobre as características do transporte público. Cada grupo definirá um relator, este falará para a classe a discussão de seu grupo. Não podem ser tomadas notas pelos integrantes dos grupos durante a discussão. (Duração: cerca de 3 minutos) • Os relatores irão expor as discussões realizadas em grupo. (Duração: cerca de 3 minutos) <p>Segundo diálogo argumentativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serão exibidos 3 vídeos: uma pequena reportagem que relata o aumento de passagem em Vila Velha, ES (GLOBOPLAY, 2017); uma matéria transmitida pelo Auto Esporte que traz doenças causadas pelo contato e alta exposição à combustíveis (VAMOS APITAR, 2016); uma reportagem sobre o transporte público em Belo Horizonte, MG, mostrando atrasos nas linhas, superlotação, demissão de funcionários, entre outros. Os vídeos serão transmitidos na ordem descrita. (Duração: cerca de 11 minutos) • Em grupo, os estudantes discutirão novamente sobre as características do transporte público levando em consideração as informações contidas nos vídeos. (Duração: cerca de 5 minutos) • Os relatores irão expor as discussões realizadas em grupo. (Duração: cerca de 5 minutos) • Formalização: elaborar uma lista construída coletivamente dos aspectos da tecnologia; separar essa lista em colunas coletivamente; cada coluna representa um aspecto. Finalizar mostrando o triângulo dos aspectos segundo Santos e Mortimer (2000). (Duração: cerca de 13 minutos) 	
Avaliação: Avaliação oral e coletiva que ocorrerá durante o processo de formalização como descrito acima.	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e pincel ou quadro negro e giz; • <i>Notebook</i>; • Televisão ou aparelho <i>Datashow</i>. 	
Atividade extraclasse sugerida: Assistir à reportagem que traz os moradores do bairro Previdenciários, em Juiz de Fora, reclamando das péssimas condições do bairro (MATA, 2019).	

Referências bibliográficas para os estudantes:

GLOBOPLAY. Preço da passagem de ônibus aumenta em Vila Velha, ES. **Globoplay**, 13 mar. 2017. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/5721634/?s=0s>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MATA, TV Alterosa Zona da. JF: Moradores relatam vários problemas no principal acesso aos Previdenciários. **Youtube**, 6 fev. 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=J5O5zg6W_JU. Acesso em: 26 jul. 2021.

MINAS, RecordTV. Empresários do setor de transporte público pedem ajuda aos Governos. **Youtube**, 16 jun. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=slkCFrlgHxQ>. Acesso em: 26 jul. 2021.

VAMOS APITAR. Auto Esporte – Combustível. **Youtube**, 4 nov. 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=mcrl-P_zQAg. Acesso em: 26 jul. 2021.

Referências bibliográficas para os professores:

CARVALHO, R. S.; FERRAREZI Jr., C. **Oralidade na educação básica: o que saber, como ensinar**. São Paulo: Parábola, 2018.

GLOBOPLAY. Preço da passagem de ônibus aumenta em Vila Velha, ES. **Globoplay**, 13 mar. 2017. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/5721634/?s=0s>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MATA, TV Alterosa Zona da. JF: Moradores relatam vários problemas no principal acesso aos Previdenciários. **Youtube**, 6 fev. 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=J5O5zg6W_JU. Acesso em: 26 jul. 2021.

MINAS, RecordTV. Empresários do setor de transporte público pedem ajuda aos Governos. **Youtube**, 16 jun. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=slkCFrlgHxQ>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, n. 02, v. 02, p. 110 – 132, dez. 2000.

VAMOS APITAR. Auto Esporte – Combustível. **Youtube**, 4 nov. 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=mcrl-P_zQAg. Acesso em: 26 jul. 2021.

Fonte: Elaboração própria.

Para as Aulas 2, 3 e 4 são abordados os Aspectos da Prática Tecnológica (APT) e o conteúdo científico referente à PLT, sendo realizadas as atividades: (i) diálogo argumentativo; e (ii) ensino por investigação. Importante destacar que nesta etapa reconhecemos a possibilidade de um trabalho docente interdisciplinar por meio da discussão dos APT (Quadro 27) que estão associados às visões da tecnologia, conforme apresentado no Quadro 32.

Quadro 32: Os aspectos da prática tecnológica e as visões da tecnologia.

Aspectos da prática tecnológica	Característica	Relação entre as visões da tecnologia e os aspectos da prática tecnológica
<i>Técnico</i>	O foco está no uso e no saber usar da tecnologia.	Presente no Instrumentalismo e no Determinismo com a diferença no controle tecnológico.
<i>Organizacional</i>	O entorno tecnológico está relacionado à operação da tecnologia.	O substantivismo é a junção dos aspectos técnico e organizacional.
<i>Cultural</i>	O social interfere na “produção” tecnológica.	A adequação sociotécnica é a junção dos aspectos técnico, organizacional e cultural, com destaque para o cultural demarcando a não neutralidade da tecnologia.

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com Carvalho e Ferrarezi Jr (2018), o diálogo argumentativo pode ser dividido em seis etapas: (i) definição do formato da conversa; (ii) escolha do narrador da

conversa; (iii) informação do tema da conversa; (iv) tempo de conversa; (v) conversa em grupo; e (vi) apresentação pelos narradores. Dessa maneira, o diálogo argumentativo se inicia com o professor definindo a divisão da turma, ou seja, se o formato da conversa será em organizada em grupos pequenos ou em duplas de estudantes. Além disso, o professor define as regras de boa conduta, como o respeito mútuo e o silêncio do grupo para ouvir quando um integrante do grupo estiver falando.

Definido o formato da conversa, o professor informa que cada grupo deverá escolher um narrador, o qual irá expor a discussão para a turma em etapa posterior. Também deverá informar que os estudantes não podem tomar notas durante o diálogo. Espera-se que, assim, haja maior atenção dos participantes durante o desenvolvimento da atividade. Em seguida, o docente comunica à turma o tema que será discutido em grupo e pode utilizar materiais que os auxiliem, como textos e vídeos. A partir de então, informados do tempo que terão para realizar a conversa, o qual “deverá ser definido em função do número de alunos em cada grupo” (CARVALHO; FERRAREZI Jr, 2018, p. 81), os estudantes iniciam desenvolvem o diálogo.

Na SD o tempo de conversa é pensado de forma gradativa, ou seja, se o estudante não tem familiaridade com o recurso, o professor deixa um tempo menor para a conversa de forma a não dispersarem do assunto. O professor tem o papel de garantir que a conversa esteja focada no tema proposto, podendo fazer uso de perguntas para reorientar a conversa caso os estudantes mudem de assunto. À medida que o estudante se torne familiarizado com o recurso, o professor pode aumentar o tempo destinado ao diálogo.

Quadro 33: APT que podem ser destacados na Formalização da Aula 2.

Aspectos organizacionais da tecnologia	Aspectos técnicos da tecnologia	Aspectos culturais da tecnologia
<ul style="list-style-type: none"> • Superlotação • Demora no ponto de ônibus • Aumento de passagens • Paralisação dos motoristas (sindicatos) • Condições de trabalho • Manutenção e limpeza dos ônibus • Condições das vias (asfalto) 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor à combustão • Poluição (emissão de poluentes) • Combustíveis fósseis 	<ul style="list-style-type: none"> • Cinto de segurança • Assento preferencial • Embarque e desembarque • Protocolos de segurança (máscara, higienização etc.) • Jogar lixo no chão • Depredação do ônibus

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 34: Planejamento da Aula 3.

AULA 3	
MNPEF Polo 24	Semestre
Professora: Renata Kaiser Gumieri	
Tema: Energia interna.	
Objetivos:	
<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar o entendimento dos estudantes sobre os conceitos de trabalho, calor e gás ideal; • Relacionar energia interna com os conceitos de calor e trabalho; • Introduzir o conceito de energia interna. 	
Conteúdos:	
<ul style="list-style-type: none"> • Trabalho; • Calor; • Gás ideal; • Energia interna. 	
Atividades de ensino e metodologia:	
<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação formativa sobre os conceitos de calor, trabalho e gás ideal, adotando as alternativas terapêuticas (PEREIRA, 2021) adequadas a cada questão. A avaliação será realizada utilizando o recurso <i>Plickers</i>. (Duração: cerca de 15 minutos) <p>Ensino por investigação (CARVALHO, 2010) sobre energia interna</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilização do simulador PhET, disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html. • Situação problema: Como alterar a “movimentação” de um gás dentro de um recipiente? Questões motivadoras: Como alterar a movimentação sem alterar o tamanho do recipiente? Seria possível alterar o tamanho do recipiente sem utilizar objeto externo, ou seja, apenas com o gás em seu interior? • Primeira hipótese individual. (Duração: cerca de 5 minutos) • Experimentação: em grupo os estudantes irão manipular o simulador sobre estado da matéria e discutirão sobre a possível solução do problema. (Duração: cerca de 10 minutos) • Segunda hipótese individual. (Duração: cerca de 5 minutos) • Metacognição. (Duração: cerca de 15 minutos) • Formalização do conteúdo científico: será realizada na Aula 4. 	
Avaliação:	
<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação formativa para diagnóstico dos conteúdos de trabalho, calor e gás ideal. • A segunda hipótese individual, quando comparada à primeira, pode representar a avaliação formativa (CARVALHO, 2013). 	
Recursos:	
<ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e pincel ou quadro negro e giz; • Sala de informática; • Simulador; • <i>Plickers</i>. 	
Atividade extraclasse sugerida: Refazer a simulação realizada durante a aula.	
Referências bibliográficas para os estudantes:	
<p>GRAF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Leituras de física GRAF: Física Térmica, para ler, fazer e pensar. Jun. 1998. Disponível em: http://www.if.usp.br/gref/termo/termo4.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021.</p> <p>PhET, <i>Interactive Simulations</i>. Estados da Matéria: Básico. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html. Acesso em: 26 jul. 2021.</p>	
Referências bibliográficas para os professores:	
<p>BASSALO, J. M. F. <i>Crônicas da física</i>. Belém, Universidade Federal do Pará, 1991.</p>	

GRAF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2: Física térmica/ Óptica/ GRAF**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

CARVALHO, A. M. P. de. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. de (org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: *Cengage Learning*, 2013, p. 1-20.

CARVALHO, A. M. P. de. As práticas experimentais no ensino de Física. In: CARVALHO, A. M. P. de (coord.). **Ensino de física**. São Paulo: *Cengage Learning*, 2010, p. 53-77.

PEDROSO, M. A.; RODESS, G. P.; SILVA, M. do A. J.; TRAZZI, P. S. da S. Uma atividade investigativa sobre a primeira lei da termodinâmica: considerações sobre o processo de problematização. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, jul. 2017.

PEREIRA, F. G. **Avaliação formativa sobre energia: uma proposta de sequência didática utilizando o aplicativo Plickers**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora 2021.

PhET, *Interactive Simulations*. Estados da Matéria: Básico. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html. Acesso em: 26 jul. 2021.

PLICKERS. **Plickers**, 2019. Disponível em: <https://get.plickers.com/>. Acesso em: 26 jul. 2021.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 35: Planejamento da Aula 4.

AULA 4	
MNPEF Polo 24	Semestre
Professora: Renata Kaiser Gumieri	
Tema: Primeira lei da termodinâmica.	
Objetivos:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Definir energia interna; ● Elaborar a primeira lei utilizando o funcionamento do motor à combustão interna; ● Indicar a emissão de poluentes através do processo da combustão; ● Enunciar a primeira lei da termodinâmica. 	
Conteúdos: Energia interna e primeira lei da termodinâmica.	
Atividades de ensino e metodologia:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Formalização do conteúdo científico: último momento do processo de EI realizado na Aula 3, com a definição do conceito de variação da energia interna. (Duração: cerca de 10 minutos) ● Elaboração da primeira lei da termodinâmica: mostrar/discutir a variação da energia interna a partir de um vídeo que apresenta o ciclo do motor a combustão interna, sendo construída a relação de conservação de energia para um sistema termodinâmico. Será indicada a discussão de emissão de poluentes através do processo da combustão. (Duração: cerca de 20 minutos) 	
Avaliação:	
Avaliação formativa abordando a discussão realizada sobre a primeira lei da termodinâmica. Essa avaliação será realizada usando o recurso <i>Plickers</i> , adotando as alternativas terapêuticas (PEREIRA, 2021) adequadas a cada questão. Para isso será utilizado o vídeo que traz o motor real e as etapas do ciclo Otto (MÁQUINAS, 2020). (Duração: cerca de 30 minutos)	

<p>Recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Quadro branco e pincel ou quadro negro e giz; ● Apresentação em <i>slides</i> (GUMIERI, 2022); ● Televisão ou aparelho <i>Datashow</i>; ● <i>Plickers</i>.
<p>Atividade extraclasse sugerida: Reassistir ao vídeo que traz o motor real e as etapas do ciclo Otto e/ou estudo dirigido com exercícios de aplicação da primeira lei da termodinâmica (GUMIERI, 2022) (ANEXO 6: ESTUDO DIRIGIDO – AULA 4)</p>
<p>Referências bibliográficas para os estudantes: MÁQUINAS, Agricultura de precisão e projeto de. Motores de combustão interna: funcionamento do motor Ciclo Otto. Youtube, 4 out. 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=I4PM1EuBswU. Acesso em: 26 jul. 2021. GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Leituras de física GREF. Física Térmica, para ler, fazer e pensar. Jun. 1998. Disponível em: http://www.if.usp.br/gref/termo/termo4.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021. GUMIERI, R. K. Primeira lei da termodinâmica – aula 4. Youtube, 29 set. 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=AIQKCYkifN4&t=46s</p>
<p>Referências bibliográficas para os professores: MÁQUINAS, Agricultura de precisão e projeto de. Motores de combustão interna: funcionamento do motor Ciclo Otto. Youtube, 4 out. 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=I4PM1EuBswU. Acesso em: 26 jul. 2021. BASSALO, J. M. F. Crônicas da física. Belém, Universidade Federal do Pará, 1991. GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 2: Física térmica/ Óptica/ GREF. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991. GUMIERI, R. K. Primeira lei da termodinâmica – aula 4. Youtube, 29 set. 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=AIQKCYkifN4&t=46s PEREIRA, F. G. Avaliação formativa sobre energia: uma proposta de sequência didática utilizando o aplicativo <i>Plickers</i>. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora 2021. PLICKERS. Plickers, 2019. Disponível em: https://get.plickers.com/. Acesso em: 26 jul. 2021.</p>

Fonte: Elaboração própria.

Como partimos do pressuposto de que os estudantes já haviam estudado os conceitos de trabalho, calor, gás ideal e equação geral dos gases ideais, a Aula 3 se inicia com o diagnóstico sobre o entendimento dos estudantes acerca de tais conceitos. Para isso, utiliza-se o recurso *Plickers* para a realização de uma avaliação formativa, adotando as alternativas terapêuticas (PEREIRA, 2021) adequadas a cada questão. Em seguida, seguindo a estrutura do EI, é realizada a experimentação virtual para a introdução do conceito de energia interna e sua relação com os processos de calor e trabalho.

Quanto às etapas do EI, Carvalho (2010) as apresenta como: (i) proposição da situação-problema; (ii) escrita da primeira hipótese individual pelos estudantes; (iii) resolução do problema; (iv) escrita da segunda hipótese individual pelos estudantes; (v) discussão das observações, resultados e interpretações obtidos; e (vi) sistematização do conteúdo científico. Frente a tais etapas, durante todo o processo de EI, o “professor assume um papel de propor problemas, acompanhar as discussões, promover novas

oportunidades de reflexão, estimular, desafiar, argumentar” (TRIVELATO; SILVA, 2016, p. 76).

Após o professor passar para a turma a situação-problema, inicia-se a etapa da escrita da primeira hipótese individual, na qual os estudantes, individualmente, escrevem a primeira hipótese buscando solucionar o problema definido na primeira etapa. Os estudantes não devem conversar entre si nesta etapa a fim de que o material possa indicar um diagnóstico dos conhecimentos apropriados por cada um deles individualmente até aquele momento. Nesta etapa o professor pode fazer uso de questões motivadoras incentivando a escrita dos estudantes. Posteriormente, os estudantes, em grupo, testam as hipóteses individuais na etapa de resolução do problema. Nesta etapa os estudantes utilização o Simulador PhET, Estados da Matéria: Básico.

Findada a experimentação, os estudantes, individualmente, escrevem suas conclusões partindo, em seguida, para a etapa onde poderá ocorrer a metacognição. Esta é a etapa onde ocorre a discussão das observações, resultados e interpretações obtidos e se busca o desenvolvimento do raciocínio metacognitivo pelos estudantes. É nela “que se solidificam as discussões realizadas nos grupos, levando-os a tomarem consciência das relações entre as variáveis do fenômeno estudado (...)” (CARVALHO, 2010, p. 62). Para que, então, “na passagem da etapa de explicar o como fizeram para o porquê deu certo” (CARVALHO, 2010, p. 63) o conceito se estabeleça, ou seja, os conceitos sejam formulados.

Como destaca Carvalho (2013), a sistematização, formalização do conteúdo científico, consiste na passagem do que foi construído pelos estudantes para a linguagem científica, em que os estudantes “podem novamente discutir, comparando o que fizeram e o que pensaram ao resolver o problema, com o relatado no texto” (CARVALHO, 2013, p. 9).

Quadro 36: Planejamento da Aula 5.

AULA 5	
MNPEF Polo 24	Semestre
Professora: Renata Kaiser Gumieri	
Tema: Ressignificação sobre o transporte público: poluição veicular.	
Objetivos:	
<ul style="list-style-type: none"> • Discutir sobre a utilização do motor à combustão interna; • Relacionar a primeira lei da termodinâmica e a poluição veicular. 	
Conteúdo: emissão de gases poluentes por veículos automotores.	
Atividades de ensino e metodologia:	
<ul style="list-style-type: none"> • Retomada do problema (aspectos, características e valores do transporte público) a partir do diagnóstico realizado na Aula 1 apresentando como nuvem de palavras no aplicativo “<i>Wordcloud</i>” listadas na Aula 1. (Duração: cerca de 10 minutos) Diálogo argumentativo (CARVALHO; FERRAREZI Jr., 2018): • Serão distribuídos 5 textos distintos, os quais abordam a poluição veicular. Cada grupo receberá um único texto realizando a discussão sobre ele, com o objetivo de responderem à pergunta: “Quais aspectos da tecnologia aparecem nos textos? Justifiquem suas respostas.”. (Duração: cerca de 10 minutos) • Os relatores irão expor as discussões realizadas em grupo. (Duração: cerca de 15 minutos) • Formalização do professor com os estudantes, enfatizando a relação entre os aspectos técnicos, a primeira lei da termodinâmica e a poluição veicular. (Duração: cerca de 15 minutos) 	
Avaliação:	
Avaliação oral e coletiva que ocorrerá durante o processo de formalização como descrito no item anterior.	
Recursos:	
<ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e pincel ou quadro negro e giz; • Textos impressos (ANEXO 7: TEXTOS – AULA 5); • Aplicativo de nuvem de palavras “<i>Wordcloud</i>”. 	
Atividade extraclasse sugerida:	
Assistir ao webnário “Poluição veicular e os impactos à saúde” que aborda as doenças e mortes referentes a poluição veicular no Brasil e discute o programa de controle das emissões no estado de São Paulo (APM, 2020).	
Referências bibliográficas para os estudantes:	
APM, TV. Poluição veicular e os impactos à saúde. Youtube , 15 dez. 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=m19L-50J8cY . Acesso em: 26 jul. 2021.	
GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Leituras de física GREF. Física Térmica, para ler, fazer e pensar. Jun. 1998. Disponível em: http://www.if.usp.br/gref/termo/termo4.pdf . Acesso em: 26 jul. 2021.	
Referências bibliográficas para os professores:	
APM, TV. Poluição veicular e os impactos à saúde. Youtube , 15 dez. 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=m19L-50J8cY . Acesso em: 26 jul. 2021.	
CARVALHO, R. S.; FERRAREZI Jr., C. Oralidade na educação básica: o que saber, como ensinar . São Paulo: Parábola, 2018.	
CUNHA, A. da S. Levitando com a Física . Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.	
DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de Ciências: fundamentos e métodos . 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.	
FONTANA, G. F. Na contramão do mundo, Toyota se recusa a abandonar motores a combustão. Atualizado em 16 mai. 2021. Quatro Rodas . Publicado em 14 mai. 2021. Disponível em: https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/na-contra-mao-do-mundo-toyota-se-recusa-a-abandonar-motores-a-combustao/ . Acesso em: 26 jul. 2021.	
GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 2: Física térmica/ Óptica/ GREF .	

São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991.
G1, Zona da Mata. Juiz de Fora realiza testes para circulação de ônibus sustentável. **TV Integração**. Publicado em 30 ago. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2019/08/30/juiz-de-fora-realiza-testes-para-circulacao-de-onibus-sustentavel.ghtml>. Acesso em: 26 jul. 2021.
MENINI, D. P. M. e; PROCÓPIO, A. S. *In*: Congresso Nacional do Meio Ambiente, 17., 2020, Poços de Caldas. **Estimativa de emissões atmosféricas por veículos automotores em um centro urbano**. ISSN *on-line* N° 2317-9686, V. 12, N. 1, 2020.
WORDCLOUD. Disponível em: <https://www.wordclouds.com/>. Acesso em: 26 jul. 2021.

Fonte: Elaboração própria.

Da atividade de associação livre de palavras desenvolvida com a palavra “ônibus” é criada uma nuvem de palavras no aplicativo “*Wordcloud*”, a qual é utilizada pelo professor para fazer a retomada do problema abordando os aspectos, características e valores do transporte público a partir do que foi apontado pelos estudantes. Somente o professor tem acesso ao aplicativo e à nuvem de palavras. Essa nuvem irá apontar o APT mais destacado pelos estudantes que servirá de base para a retomada do problema na Aula 5.

O Quadro 37 mostra os efeitos à saúde e ao meio ambiente de alguns dos gases emitidos por motores à combustão interna.

Quadro 37: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos gerais sobre a saúde	Efeitos no meio ambiente
Partículas totais em suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua suspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen aerossol marinho e solo.	Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito à saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doença pulmonar, asma e bronquite.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite, abaixa a resistência às infecções respiratórias.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	Altos níveis de CO estão associados a prejuízos dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado, de trabalho e visual.	—

Fonte: Silva (2008).

Quadro 38: Planejamento da Aula 6.

AULA 6	
MNPEF Polo 24	Semestre
Professora: Renata Kaiser Gumieri	
Tema: Visões da tecnologia.	
Objetivo:	
<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar a visão dos estudantes acerca da tecnologia relacionada ao transporte público e sua relação com a sociedade. 	
Conteúdo: visões da tecnologia.	

<p>Atividades de ensino e metodologia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação diagnóstica sobre qual é a visão dos estudantes sobre as tecnologias relacionadas ao transporte público. (Duração: cerca de 40 minutos)
<p>Avaliação: avaliação diagnóstica acerca da relação entre tecnologia e sociedade.</p>
<p>Recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e pincel ou quadro negro e giz; • Avaliação impressa.
<p>Referências bibliográficas para os professores: SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. Revista Ensaio, Belo Horizonte, n. 02, v. 02, p. 110 – 132, dez. 2000. SANTOS, W. L. P. Aspectos sócio-científicos em aulas de química. Tese (doutorado em educação). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.</p>

Fonte: Elaboração própria.

A Aula 6 é composta por uma avaliação formativa, na qual é rerepresentado aos estudantes o caso para estudo da Aula 1. O objetivo é observar se houve alguma mudança em relação às respostas obtidas na Aula 1. Aqui o professor poderá comparar com as respostas dadas pelos estudantes na Aula 1 avaliando a mudança ou não que ocorreu com o entendimento deles ao longo do processo. Essa é a proposta de tomada de decisão ancorada no estudo e desenvolvimento dos outros pressupostos do enfoque CTS.

Quadro 39: Planejamento da Aula 7.

AULA 7	
MNPEF Polo 24	Semestre
Professora: Renata Kaiser Gumieri	
Tema: Visões da tecnologia.	
<p>Objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistematizar os conhecimentos socio científicos. • Apontar um novo assunto a partir da discussão que encerrou, como uma discussão sobre alternativas de transporte público, por exemplo, com o uso de veículos elétricos. 	
Conteúdo: visões da tecnologia.	
<p>Atividades de ensino e metodologia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análise do caso proposto através da avaliação diagnóstica sobre as visões da tecnologia. Explicar cada resposta possível no caso para estudo, indicando as características de cada visão de tecnologia em cada uma das opções e os aspectos da prática tecnológica. 	
<p>Avaliação: Proposta de avaliação oral e coletiva: elaboração de uma lista com os aspectos centrais e visões da tecnologia envolvendo o uso dos motores elétricos no transporte público em geral. Essa lista guiará a possível construção de um novo caso abordando essa “nova” prática tecnológica, sendo a disparada para uma nova SD.</p>	
<p>Recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e pincel ou quadro negro e giz; • Apresentação em <i>slides</i> (GUMIERI, 2022); • Televisão ou aparelho <i>Datashow</i>; 	

Referências bibliográficas para os professores:

DAGNINO, R. Um dilema latino-americano: ciência e tecnologia para a sociedade ou adequação sócio-técnica com o povo? *In*: Renato Dagnino (org.). **Estudos sociais da ciência e tecnologia e política de ciência e tecnologia**: abordagens alternativas para uma nova América Latina.

Campina Grande: EDUEPB, 2010, p. 265-292.

GUMIERI, R. K. Primeira lei da termodinâmica – aula 4. **Youtube**, 29 set. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AIQKCYkifN4&t=46s>

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, n. 02, v. 02, p. 110 – 132, dez. 2000.

Fonte: Elaboração própria.

A Aula 7 constitui-se de um momento expositivo dialogado no qual propomos realizar a discussão sobre as alternativas do caso para estudo em perspectiva com os APT e as visões da tecnologia, Quadro 16, relacionadas também com os pontos resumidos no Quadro 26 e no Quadro 27 e sistematizada no Quadro 40.

Quadro 40: Visões da Tecnologia relacionadas com os APT e as alternativas do caso para estudo.

Características APT	APT presentes na problematização	APT presentes nas Visões da Tecnologia	Visões da Tecnologia/ Personagem do caso para estudo	Características	Característica demarcada na proposta	Diferença
Técnico: o foco está no uso e no saber usar da tecnologia	Motor à combustão; Poluição (emissão de poluentes); Combustíveis fósseis.	Técnico	Instrumentalismo Isabel	Controle humano da tecnologia e neutralidade de valores; Tecnologia como ferramenta/instrumento para a satisfação de necessidades humanas; Tecnologia pode ser usada para o bem ou para o mal.	Controle Tecnológico	Tecnologia controlada pelo homem
			Determinismo Denis	Tecnologia neutra; Tecnologia autônoma; Tecnologia determina o avanço social; Tecnologia como solução para os problemas sociais; Domínio tecnológico gera produção eficiente e progresso.		Tecnologia autônoma
Organizacional: o entorno tecnológico está relacionado à operação da tecnologia	Superlotação; Demora no ponto de ônibus; Aumento de passagens; Paralisação dos motoristas (sindicatos); Condições de trabalho; Manutenção e limpeza dos ônibus; Condições das vias (asfalto).	Técnico Organizacional I	Substantivismo Sandra	Tecnologia assume compromisso com o bem-viver; Tecnologia condicionada por valores; Tecnologia autônoma.	MLTP	Preconiza o MLTP destacando uma “preocupação com o bem-estar social”
Cultural: o social interfere na “produção” tecnológica	Cinto de segurança; Assento preferencial; Embarque e desembarque; Protocolos de segurança (máscara, higienização etc.); Jogar lixo no chão; Depredação do ônibus.	Técnico Organizacional I Cultural	Adequação Sociotécnica	Não neutralidade tecnológica; Não neutralidade científica; Tecnologia controlada pelo homem; Tecnologia portadora de valores; Tecnologia ainda pode ser a solução.		Ênfase na não neutralidade da ciência apresentando uma perspectiva crítica do MLTP

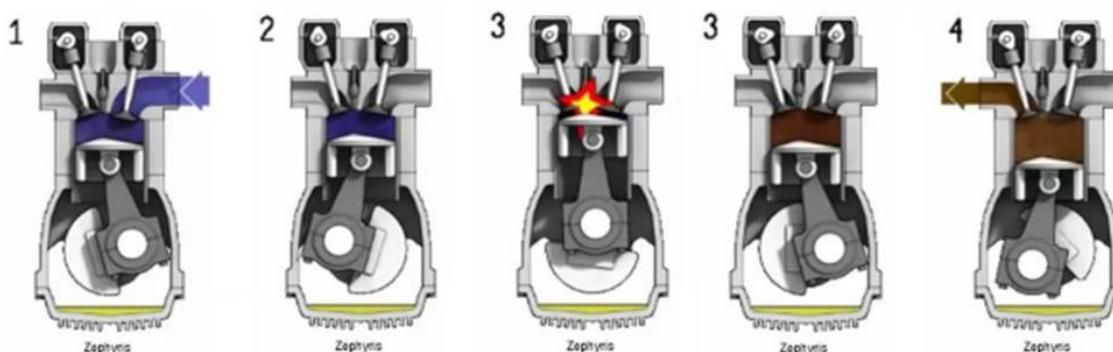
Fonte: Elaboração própria.

ANEXO 6: ESTUDO DIRIGIDO – AULA 4

Exercício resolvido

Um sistema gasoso ideal troca (recebe ou cede) energia térmica por calor, sendo $Q = 627 \text{ J}$. Determine, em joules, a energia trocada por trabalho com o meio, em cada um dos casos:

No motor à combustão interna temos as etapas da compressão, combustão, expansão e exaustão, como mostrado na figura abaixo.



Na compressão há a diminuição no volume ocupado pelo gás e esse processo ocorre sem que haja troca de energia térmica por calor (processo adiabático). Na compressão, então, temos a variação de energia interna devido à realização de trabalho do pistão sobre o gás: $\Delta U = W$, sendo W positivo.

Na combustão há o aumento da pressão e, conseqüentemente da temperatura, sem haver alteração no volume ocupado pelo gás (volume constante). Logo, o sistema não cede ou recebe energia por trabalho e a variação de energia interna ocorre porque o sistema recebe energia térmica por calor: $\Delta U = Q$, sendo Q positivo.

Na expansão há o aumento do volume ocupado pelo gás e esse processo ocorre sem que haja troca de energia térmica por calor (processo adiabático). Na expansão, então temos a variação de energia interna devido à realização de trabalho do gás sobre o pistão: $\Delta U = W$, sendo W negativo.

Na exaustão há a diminuição da pressão e, conseqüentemente da temperatura, sem haver alteração no volume ocupado pelo gás (volume constante). Logo, o sistema não cede ou recebe energia por trabalho e a variação de energia interna ocorre porque o sistema cede energia térmica por calor: $\Delta U = Q$, sendo Q negativo.

A equação que descreve o balanço de energia para as etapas do motor à combustão interna representa a primeira lei da termodinâmica: $\Delta U = Q + W$. Onde,

- a energia térmica trocado por calor pode ser:
 - (a) positiva (+): o gás recebe energia térmica;
 - (b) negativa (-): o gás cede energia térmica.
- a energia trocada por trabalho pode ser:
 - (a) positiva (+): compressão – o pistão realiza trabalho sobre o gás;
 - (b) negativa (-): expansão – o gás realiza trabalho sobre o pistão.

Para processos em que não há a variação de temperatura, ou seja, a temperatura se mantém constante, a variação de energia interna é nula: $\Delta U = 0$. Nas alternativas abaixo analisaremos o balanço de energia para diferentes processos.

- a) Processo de expansão mantendo-se a temperatura constante, sendo $Q = 627$ J;

Resolução:

Na expansão à temperatura constante, a variação de energia interna é nula e o gás realiza trabalho recebendo energia térmica por calor. Da primeira lei da termodinâmica temos:

$$\Delta U = Q + W \quad Q + W = 0 \quad W = -Q$$

$$W = -627 \text{ J}$$

- b) Processo de compressão mantendo-se a temperatura constante, sendo $Q = -627$ J;

Resolução:

Na compressão à temperatura constante, a variação de energia interna é nula e o gás recebe energia por trabalho cedendo energia térmica por calor. Da primeira lei da termodinâmica temos:

$$\Delta U = Q + W \quad Q + W = 0 \quad W = -Q$$

$$W = -(-627)$$

$$W = 627 \text{ J}$$

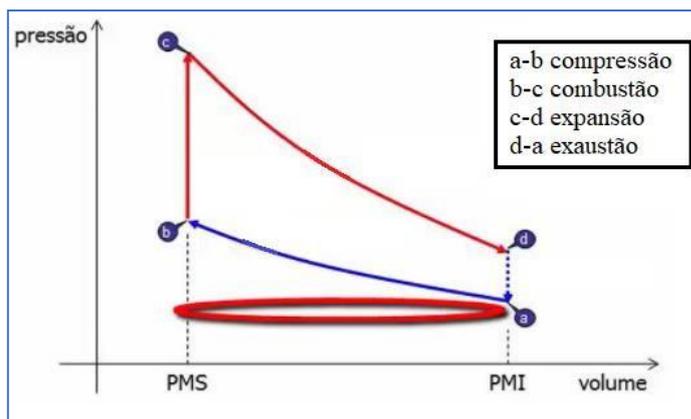
- c) aquecimento mantendo-se o volume constante.

Resolução:

Como não há variação no volume ocupado pelo gás, $\Delta V = 0$; $W = 0$ J.

Exercícios propostos

- 1) Descreva a variação de energia interna para as etapas do motor a combustão interna e responda:



A variação da energia interna aumenta ou diminui em cada uma das etapas?

- a) etapa da compressão onde não há troca de energia por calor (adiabática);
- b) etapa da combustão à volume constante;
- c) etapa da expansão onde não há troca de energia por calor (adiabática);
- d) etapa da exaustão à volume constante.
- 2) Um sistema termodinâmico, constituído por um gás ideal, troca 1.672 J com o meio externo pelo processo calor. Determine a variação de energia interna do sistema, em cada um dos casos.
- a) aquecimento mantendo-se o volume constante;
- b) resfriamento mantendo-se o volume constante;
- c) expansão mantendo-se a temperatura constante.
- 3) Numa transformação termodinâmica, um gás ideal troca com o meio externo 209 J pelo processo trabalho. Determine, em joules, a energia trocada com o meio externo por calor, em cada um dos casos:
- a) expansão mantendo-se a temperatura constante;
- b) compressão mantendo-se o volume constante;
- c) expansão onde não há troca de energia por calor (adiabática).

ANEXO 7: TEXTOS – AULA 5

Poluição veicular: um problema global e local²⁷ - parte 1

Em todo o mundo, as megacidades com mais de 10 milhões de habitantes enfrentam sérios problemas causados pela poluição veicular. Ao contrário do que se poderia supor, a poluição não é mais grave nos países mais ricos e desenvolvidos. Atualmente, grandes metrópoles como Paris, Nova York, Londres e Tóquio são menos poluídas do que muitas cidades de países em desenvolvimento, como a Cidade do México, Buenos Aires e São Paulo. Nesse ranking, os países pobres levam desvantagem, pois carecem de investimentos em transporte coletivo e outras medidas capazes de melhorar a qualidade do ar.

No Brasil, os paulistanos são os que mais sofrem com a poluição do ar. São Paulo tem sido apontada como a quinta cidade mais poluída do planeta. Em 2003, segundo dados da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), órgão responsável pelo monitoramento da qualidade do ar no Estado, a região metropolitana possuía uma frota de 7,5 milhões de veículos e cerca de 2 mil indústrias. Estima-se que essas fontes de poluição são responsáveis pelas emissões para a atmosfera de: 1,8 milhões de t/ano de monóxido de carbono (CO), 415 mil t/ano de hidrocarbonetos (HC), 409 mil t/ano de óxidos de nitrogênio (NO_x) e 67 mil t/ano de material particulado (MP). Desses totais, os veículos são responsáveis por 98% das emissões de CO, 97% de NO_x e 52% de MP. Da frota que circula na região metropolitana de São Paulo, 5,8% dos veículos são movidos a óleo diesel (cerca de 400 mil veículos, entre ônibus, caminhões e caminhonetes) despejam anualmente 12,4 mil toneladas de fumaça preta na atmosfera, colocando em risco o meio ambiente e a saúde da população.

A tabela abaixo mostra as emissões dos poluentes acima citados, bem como de dióxido de carbono (CO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂), na cidade de Juiz de Fora no ano de 2018.

Quadro 41: Emissões de poluentes atmosféricos (t/ano) por tipo de combustível em Juiz de Fora, em 2018.

COMBUSTÍVEL	CO	HC	NO _x	MP	CO ₂	N ₂ O
Gasolina	546,03	70,97	56,83	0,67	45.515,48	3,89
Etanol	31,74	38,78	31,99	0,00	25.350,74	0,32

²⁷ Adaptado de: CUNHA, A. da S. **Levitando com a Física**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Gasolina/ Etanol	360,29	57,90	28,60	1,91	156.028,20	16,51
Diesel	226,16	58,24	1.140,58	45,46	132.091,58	12,24
Total	1.164,22	225,89	1.258,00	48,05	340.305,34	32,96

Fonte: MENINI; PROCÓPIO²⁸ 2020.

Poluição veicular: um problema global e local²⁹ - parte 2

Para os governos de todo o mundo, a poluição representa um grande ônus, pois é preciso manter mecanismos sofisticados de medição da qualidade do ar e estabelecer políticas de controle da poluição. Em muitos países, essas medidas têm contribuído para dar um alívio à população. Na Cidade do México, por exemplo, depois de dez anos de um programa que inclui o rodízio de automóveis, a inspeção dos veículos a cada seis meses e o melhoramento dos combustíveis, os índices de poluição se tornaram mais baixos. Mesmo assim, a cidade ocupa o terceiro lugar na lista das mais poluídas do mundo.

No Brasil também foram adotadas várias medidas para reduzir os níveis de poluição veicular. Merece destaque a iniciativa do Ibama, que institui o Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores (Proconve). Por meio da Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986, o Proconve estabeleceu como objetivo principal a redução da emissão de poluentes por veículos automotores nacionais e importados. A resolução foi ratificada pela Lei nº 8723, de 28 de outubro de 1993.

Desde a sua implantação, o Proconve já promoveu a redução das emissões de monóxido de carbono dos veículos novos em cerca de 97%. O programa também estabeleceu a inspeção periódica dos veículos em circulação para verificação dos níveis de emissão dos escapamentos. O país também foi o primeiro do mundo a produzir gasolina sem chumbo, reduzindo as nocivas emissões de compostos desse metal, e a utilizar combustíveis alternativos, como o álcool. Atualmente, não se usa mais gasolina pura nos veículos rodoviários, e sim uma mistura de gasolina e álcool anidro, muito menos poluente. O Proconve também possibilitou o desenvolvimento tecnológico dos veículos, permitindo a introdução do uso de catalisadores no Brasil, a partir de 1992. Um cilindro de aproximadamente 30 cm é colocado antes do cano de escapamento dos veículos automotores, para promover o tratamento dos gases produzidos pela queima de combustível.

²⁸ MENINI, D. P. M. e; PROCÓPIO, A. S. *In*: Congresso Nacional do Meio Ambiente, 17., 2020, Poços de Caldas. **Estimativa de emissões atmosféricas por veículos automotores em um centro urbano**. ISSN *on-line* Nº 2317-9686, V. 12, N. 1, 2020.

²⁹ Adaptado de: CUNHA, A. da S. **Levitando com a Física**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Com essas medidas, a qualidade do ar tem melhorado nos últimos anos, mas isso ainda não é suficiente para conter o efeito negativo de uma frota de veículos que não para de crescer. Só para se ter uma ideia, de 1980 para cá, a frota cresceu 215% (cerca de 12 vezes mais que o crescimento da população, que foi de 18%). Isso significa que, a cada ano, são cerca de 170 mil veículos novos em circulação. Em muitas cidades, o número de automóveis já é tão grande que eles passam a maior parte do tempo presos em longos congestionamentos, o que contribui para aumentar ainda mais as emissões.

Uma opção de transporte³⁰

Com o objetivo de incentivar a população a utilizar transportes alternativos em detrimento a veículos, uma boa prática ambiental que contribui para desafogar o trânsito, os servidores da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) e do Instituto Estadual do Ambiente (Inea) se mobilizaram e fizeram suas selfies registrando de que forma chegaram ao trabalho neste dia.

Os registros fotográficos foram feitos na última quinta-feira (22/09/2016), data de atenção ao Dia Mundial Sem Carro. As imagens estarão reunidas em um mural que será montado na entrada da sede da Sea/Inea, na Avenida Venezuela, no Centro do Rio.

A servidora do Inea, a advogada Fernanda Pietro utiliza um ônibus e o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) para se deslocar do município de Petrópolis, onde mora, até a sede do Inea, o Centro do Rio.

Já a servidora Lohanna Costa, moradora de Bonsucesso, costuma se deslocar para o trabalho utilizando transporte ferroviário, ramal de Gramacho.

Mesmo os servidores que precisam utilizar o carro, fizeram desta quinta-feira (22/09/2016) um dia diferente, deixando o automóvel na garagem e aderindo à campanha pelo uso do transporte alternativo. Os servidores participaram ainda de um passeio ciclístico que contou com a presença do Secretário de estado do Ambiente André Corrêa, o Presidente do Inea, Marcus Lima e demais diretores e gerentes.

O ponto de partida foi a sede do Inea, no Centro do Rio, de onde saíram pedalando em 20 triciclos individuais e de família, cedidos pelo Instituto Caminhos da Terra, com o destino ao Museu do Amanhã, passando pelo Boulevard Olímpico, onde foi lançado o 2º Inventário de Emissões Veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com

³⁰ Adaptado de: CUNHA, A. da S. **Levitando com a Física**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

destaque para a redução de até 90% das emissões atmosféricas contempladas no 1º inventário publicado em 2004.

Passada mais de uma década da primeira publicação, durante a qual foram aplicadas diversas medidas de controle de emissões veiculares, tanto em âmbito nacional quanto estadual, as emissões estimadas foram reduzidas em aproximadamente 90% para monóxido de carbono (CO) e 75% para os óxidos de nitrogênio (NOx). Em relação ao somatório das emissões estimadas em 2004 e 2016, a redução alcançou 90% mesmo com a ampliação, de 186 para 1.233 de vias inventariadas e da frota (de 885.716 para 1.352.561) consideradas no estudo.

“O inventário de emissão veicular é uma das ferramentas mais úteis na gestão do controle da poluição atmosférica. Por meio do levantamento das emissões de poluentes emitidos pela frota de veículos automotores de uma região, o inventário permite a elaboração de diagnósticos que norteiam e reforçam as ações governamentais preventivas e corretivas e contribuem para o desenvolvimento de ações pontuais de controle”, disse o secretário estadual do ambiente, André Corrêa.

Na contramão do mundo, Toyota se recusa a abandonar motores a combustão³¹

A fabricante tem planos para a eletrificação total da linha, mas diz que isso levará mais tempo do que o esperado. Por isso, seguirá apostando nos híbridos

A quantidade de fabricantes que não terão novos motores a combustão já não cabe mais nos dedos de duas mãos, mas ainda há quem se recuse a ceder totalmente à eletrificação.

Esse é o caso da Toyota, que revelou ter planos mais conservadores, que manterão os motores convencionais ainda por algum tempo. Isso não quer dizer, porém, que a japonesa não honrará seus compromissos de neutralidade de carbono.

O anúncio significa que a Toyota investirá por mais algum tempo nos veículos híbridos, que combinam motores elétricos e a combustão, sendo eles recarregáveis em tomadas, ou não. Esse tipo de conjunto se tornou tradição na empresa, que foi a primeira

³¹ Adaptado de: FONTANA, G. F. Na contramão do mundo, Toyota se recusa a abandonar motores a combustão. Atualizado em 16 mai. 2021. **Quatro Rodas**. Publicado em 14 mai. 2021. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/na-contra-mao-do-mundo-toyota-se-recusa-a-abandonar-motores-a-combustao/>. Acesso em: 26 jul. 2021

marca de volume a lançar um híbrido em uma época em que pouco se falava deles: o Prius estreou no mercado japonês em 1997.

Outras decisões globais e locais não deixam mentir sobre o foco da Toyota nos híbridos: a Lexus, sua divisão de luxo, foi a primeira marca a ter uma linha de produtos 100% híbridos; o carro mais vendido do mundo, o Corolla, rompeu barreiras e ganhou uma versão híbrida; e, novamente o Corolla, foi o primeiro carro híbrido bicom bustível do mundo.

Se por um lado o caminho da empresa mostra certa tradição, por outro tem causado polêmica. De acordo com a agência de notícias Reuters, o CEO da Toyota, Akio Toyoda, tem sido criticado por acionistas por sua postura contrária aos modelos totalmente elétricos. Os investidores têm feito ameaças à empresa, dizendo que consideram vender suas participações.

Ainda segundo a agência, o diretor de pesquisas ambientais e energéticas da fabricante, Rober Wimmer, depôs aos senadores dos Estados Unidos dizendo que a eletrificação não é uma tarefa simples e barata. “Se quisermos fazer um progresso dramático na eletrificação, será necessário superar enormes desafios, como infraestrutura de recarga, disponibilidade de baterias, acessibilidade e aceitação dos consumidores”, disse Wimmer.

A previsão otimista da Toyota é de que, em 2030, nos EUA, 70% das vendas das marcas Toyota e Lexus sejam de modelos elétricos – movidos a energia elétrica ou a células de hidrogênio.

Juiz de Fora realiza testes para circulação de ônibus sustentável³²

POR SEIS MESES, VEÍCULO VAI CIRCULAR NA COR BRANCA, COM O ADESIVO "URBANO", E VAI ATENDER A LINHA 211- RIO BRANCO.

Testes para a circulação de ônibus sustentável em Juiz de Fora serão realizados a partir de segunda-feira (2), pela Secretaria de Transporte e Trânsito (Settra). A informação foi divulgada pela pasta nesta sexta-feira (30).

Os testes estão programados para durarem seis meses. O ônibus circulará na cor branca, com o adesivo "Urbano" e vai atender a linha 211- Rio Branco.

³² Adaptado de: G1, Zona da Mata. Juiz de Fora realiza testes para circulação de ônibus sustentável. **TV Integração**. Publicado em 30 ago. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2019/08/30/juiz-de-fora-realiza-testes-para-circulacao-de-onibus-sustentavel.ghtml>. Acesso em: 26 jul. 2021.

De acordo com a Setra, o veículo é equipado com tecnologia Euro 5 do motor MAN DO8 e emite menos dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), além de diminuir ruídos.

Ainda conforme o Executivo, o modelo também conta com novas suspensões a ar, o que garante maior conforto aos passageiros e motoristas, além de outros benefícios com baixo consumo de combustível e maior intervalo de manutenção.

A tabela abaixo mostra as emissões dos poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nítrico (N₂O) na cidade de Juiz de Fora no ano de 2018, por veículos com motores a combustão interna.

Quadro 42: Emissões de poluentes atmosféricos (t/ano) por tipo de combustível em Juiz de Fora, em 2018.

COMBUSTÍVEL	CO	HC	NO _x	MP	CO ₂	N ₂ O
Gasolina	546,03	70,97	56,83	0,67	45.515,48	3,89
Etanol	31,74	38,78	31,99	0,00	25.350,74	0,32
Gasolina/ Etanol	360,29	57,90	28,60	1,91	156.028,20	16,51
Diesel	226,16	58,24	1.140,58	45,46	132.091,58	12,24
Total	1.164,22	225,89	1.258,00	48,05	340.305,34	32,96

Fonte: MENINI; PROCÓPIO³³ 2020.

³³ MENINI, D. P. M. e; PROCÓPIO, A. S. *In*: Congresso Nacional do Meio Ambiente, 17., 2020, Poços de Caldas. **Estimativa de emissões atmosféricas por veículos automotores em um centro urbano**. ISSN on-line N° 2317-9686, V. 12, N. 1, 2020.